

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

ESTÁGIO LABORAL

**Estudo comparativo do uso de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio no tratamento de águas do tanque de armazenamento dos CFM**



Autora:

Helda Graça Cumaio

Maputo, Dezembro de 2012



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
ESTÁGIO LABORAL

**Estudo comparativo do uso de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio no tratamento de águas do tanque de armazenamento dos CFM**



Autora: Helda Graça Cumaio  
Supervisora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Tatiana Kuleshova  
Co-Supervisor: Eng<sup>o</sup> Acílio Sousa Chiau

Maputo, Dezembro de 2012

### **Dedicatória**

Este trabalho é especialmente dedicado à minha falecida mãe, pelo exemplo de vida e à Sr.<sup>a</sup> Rosa Dias que foi como uma mãe, atenciosa, afectuosa, prestativa e batalhadora, que sempre acompanhou e encorajou a minha formação académica.

### **Agradecimentos**

Um trabalho de licenciatura é pela sua finalidade acadêmica um trabalho individual, porém há contributos de natureza diversa que não devem deixar de ser realçados, por essa razão, desejo expressar os meus sinceros agradecimentos:

Á DEUS, pelo dom da vida e por me conduzir em todos dias da minha vida;

Á UEM pela oportunidade de realização do curso;

Á minha supervisora Prof.<sup>a</sup> Doutora Tatiana Kuleshova pela disposição, ensinamento, incentivo e acompanhamento pontual desde a formulação do tema até a elaboração do relatório final e valiosas contribuições durante a realização deste trabalho;

Ao meu co- supervisor Eng<sup>o</sup> Acílio Sousa Chiau pela paciência e disponibilidade prestadas durante a realização deste trabalho;

Quero igualmente agradecer á Prof. Doutora Fung Dai Kin pela revisão e correcção do trabalho;

Á Dra Ana del Carmen Fluente pelas valiosas contribuições durante a realização do trabalho;

Aos professores do ramo de Química Física e Inorgânica pelos ensinamentos e conhecimentos, necessários para a realização deste trabalho;

Aos Senhores Manuel Vilela, Rogério Gomes e Fabiano Resende pela disposição, compreensão, paciência e apoio no decurso da minha formação;

Aos professores do curso de Química e aos demais da UEM, colegas e funcionários do Departamento de Química, pelos ensinamentos sólidos e produtivos;

Ao LNHAÁ e aos CFM, pela concessão do estágio curricular;

Aos funcionários e colegas do LNHAÁ, especialmente ao dr. Sumbane, Melina, dra Teresa, dra Mauricete, dra Nhamona, senhora Isabel, ao senhor Adelino e dr. Parruque, pela colaboração, convívio e amizade;

Aos meus amigos Décio, Jaime, Judite Abdul, Milena, dra Maria Rodolfo, Zália e á minha querida tia René pelo apoio, paciência, amizade e companheirismo;

Aos meus colegas dr. Feniassé Chitaca e dr. Tempestade Cassicai pelo apoio e companhia;

Á família Tembe, pelo carinho e amizade durante todos estes anos de convivência;

O meu muito obrigado.

**Declaração sob compromisso de honra**

Eu Helda Graça Cumaio, declaro por minha honra, que o presente trabalho é resultado de um estágio laboral nos Caminhos de Ferro de Moçambique, complementado por uma investigação teórica e que os factos nele abordados são de minha autoria.

Maputo, Dezembro 2012

A autora

---

(Helda Graça Cumaio)

#### Resumo

O presente relatório é produto de Estágio laboral com a duração de três meses, enriquecido com experiência profissional na Empresa Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM) e realização dos ensaios laboratoriais, ligados ao tema em estudo.

Apresenta o estado de qualidade das águas residuais do tanque de armazenamento da estação dos CFM e faz uma avaliação da eficiência do método usado no processo de tratamento de água, nomeadamente, coagulação/floculação com sulfato de alumínio como padrão, e coagulação /floculação com sementes de Moringa, variando as concentrações de coagulantes. Foram feitos os ensaios com as amostras de efluente bruto, recolhidas nos meses de Setembro á Dezembro do ano de 2011.

Este trabalho enquadra-se no âmbito de tratamento de água a nível industrial e vem desta forma, contribuir para a redução da destruição da vida marinha e em conjunto com as instituições que zelam pelo ambiente, promover tecnologias de baixo custo, no sentido de evitar a contaminação dos meios colectores das águas residuais e proteger a vida aquática.

A análise das águas residuais dos CFM, antes e depois do tratamento com coagulantes, foi realizada no Laboratório Nacional de Higiene de Águas e Alimentos (LNHAA) do Ministério da Saúde (MISAU). A análise compreendeu os seguintes parâmetros de qualidade das águas: pH, condutividade, cor, depósito, turvação, nitratos, nitritos, cloretos, amoníaco, dureza total, demanda bioquímica de oxigénio (BOD) e coliformes fecais.

No tratamento com sulfato de alumínio (4mg/L) verificou-se uma enorme redução do BOD, carga microbiológica, turvação, condutividade, nitritos e nitratos e ainda redução da cor. Verificou-se também uma grande redução do pH do efluente bruto (EB). Não houve variação significativa do teor de cloretos, dureza e amoníaco. Com sementes de Moringa (concentrações 12mg/L e 16mg/L) mostrou-se a possibilidade de reduzir o teor de cloretos e cor; porém, verificou-se uma certa elevação do teor de nitratos, nitritos e amoníaco em relação ao EB, elevação da turvação. Não se alterou o valor de BOD e não se eliminou a carga microbiológica. Os resultados do tratamento estatístico confirmaram que há diferença significativa entre os resultados de análise das amostras de EB com os dois coagulantes. Como resultado deste trabalho, obteve-se a dosagem adequada de Moringa oleífera para as condições de tratamento do efluente estudado (4mg/L).

**Lista de Abreviaturas, siglas e símbolos**

CFM- Caminhos de Ferro de Mocambique

LNHAA - Laboratório Nacional de Higiene de Águas e Alimentos

MISAU - Ministério da Saúde

UEM - Universidade Eduardo Mondlane

BOD- Demanda Bioquímica de Oxigénio

EB - Efluente Bruto

ETAR- Estação de Tratamento de Águas Residuais

NTU - Nephelometric Turbidity Units

ETE - Estação de Tratamento de Efluentes

CBO - Carência Bioquímica de Oxigénio

CQO - Carência Química de Oxigénio

µS - microsiemens

DLVO - Deryagin, Landay, Vervey e Overbek

VLE - Valor limite de emissão

VMA- Valor máximo admissível

EBPT- Efluente bruto pré-tratado

## Índice

Capítulo I. Introdução.....	1
1.1. Objectivos do trabalho.....	2
1.1.1 Objectivo geral.....	2
1.1.2 Objectivos específicos.....	2
1.2. Metodologia.....	2
1.3 Definição do problema.....	3
1.4 Justificativa.....	3
1.5 Pergunta de Pesquisa.....	3
Capítulo II. Revisão Bibliográfica.....	4
2.1. Águas residuais.....	4
2.2. Tratamento de águas residuais.....	4
2.3. Estação de Tratamento de águas residuais.....	5
2.4. Caracterização das águas residuais.....	5
2.5. Caracterização do tipo de tratamento.....	6
2.5.1 Caracterização Física.....	6
2.5.2 Caracterização Química.....	7
2.5.3 Caracterização Biológica.....	8
2.6. Fases do tratamento das águas residuais.....	8
2.6.1 Tratamento preliminar.....	9
2.6.2 Tratamento primário.....	9
2.6.3 Tratamento secundário.....	9
2.6.4 Tratamento terciário.....	10
2.7 Métodos de tratamento de águas residuais.....	11
2.7.1 Flotação.....	11
2.7.2 Pré-ozonização ou pré-oxidação com ozono.....	11
2.7.3 Controlo da alcalinidade da água.....	11
2.7.4 Coagulação.....	12



2.7.5 Floculação.....	12
2.7.6 Decantação.....	13
2.7.7 Filtração.....	13
2.7.8 Ozonização intermédia.....	13
2.7.9 Filtração em Carvão Activado Granular.....	14
2.8. Mecanismos de Coagulação.....	14
2.9. Processos de coagulação/floculação para eliminação da turvação de águas.....	14
2.9.1 Coagulantes e floculantes comumente usados.....	17
2.9.2 Moringa oleífera- coagulante natural alternativo em relação aos convencionais.....	19
Capítulo III. Localização e descrição do local de estudo.....	22
Capítulo IV. Parte Experimental.....	24
4.1. Preparação das análises.....	24
4.1.1 Amostragem.....	24
4.1.2 Conservação das amostras.....	24
4.1.3 Processo de trituração das sementes de Moringa oleífera.....	25
4.2. Etapa de análises físico-químicas.....	26
4.3. Análise das amostras de água.....	26
4.4. Adição das sementes trituradas de Moringa oleífera e do sulfato de alumínio.....	28
4.5. Análises imediatas.....	29
4.6. Determinação de Amoníaco, Nitratos e Nitritos.....	29
4.6.1 Determinação do Amoníaco.....	29
4.6.2 Determinação de Nitratos.....	30
4.6.3 Determinação de Nitritos.....	30
4.7. Determinação de Cloretos e Dureza total.....	30
4.7.1 Determinação de Cloretos.....	30
4.7.2 Determinação da Dureza da água.....	31
4.8. Determinação de pH, condutividade, cor e depósito.....	31
4.8.1 Determinação do pH e da temperatura.....	32
4.8.2 Determinação da condutividade.....	32
4.8.3 Determinação da turvação.....	32
4.9. Determinação de coliformes fecais e da demanda bioquímica de oxigénio.....	32
4.9.1 Determinação da demanda bioquímica de oxigénio.....	32

Capítulo V. Apresentação e tratamento estatístico de resultados.....	34
5.1. Tratamento estatístico dos resultados.....	42
Capítulo VI. Análise e Discussão de Resultados.....	59
Capítulo VII. Conclusões e Recomendações.....	62
7.1. Conclusões.....	62
7.2. Recomendações.....	62
Referências Bibliográficas.....	63

<b>Lista de tabelas</b>	<b>Página</b>
Tabela 1 - Composição química das sementes de Moringa.....	20
Tabela 2 - Técnicas de conservação das amostras.....	24
Tabela 3 - Parâmetros analisados e respectivos métodos e equipamentos e/ou materiais.....	27
Tabela 4 - Descrição das amostras.....	28
Tabela 5 - Características físico-químicas do EBPT.....	36
Tabela 6 - Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 4mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Setembro.....	37
Tabela 7 - Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 4mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Outubro.....	37
Tabela 8 - Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 4mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Dezembro.....	38
Tabela 9 - Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 12mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Setembro.....	39
Tabela 10 - Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 12mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Outubro.....	39
Tabela 11 - Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 12mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Dezembro.....	40
Tabela 12 - Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 16mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Setembro.....	40
Tabela 13 - Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de moringa (concentração 16mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Outubro.....	41
Tabela 14 - Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 16mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Dezembro.....	42
Tabela 15 - Amostra de efluente bruto (mês de Setembro).....	43
Tabela 16 - Amostra de efluente bruto (mês de Outubro).....	43
Tabela 17 - Amostra de efluente bruto (mês de Dezembro).....	44
Tabela 18 - Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 4mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Setembro.....	44
Tabela 19 - Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 4mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Outubro.....	45
Tabela 20 - Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 4mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Dezembro.....	45

Tabela 21 – Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 12mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Setembro.....	46
Tabela 22 – Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 12mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Outubro.....	46
Tabela 23 – Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 12mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Dezembro.....	47
Tabela 24 – Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 16mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Setembro.....	47
Tabela 25 – Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 16mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Outubro.....	48
Tabela 26 – Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 16mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Dezembro.....	48
Tabela 27 – Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 4mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Setembro.....	49
Tabela 28 – Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 4mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Outubro.....	49
Tabela 29 – Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 4mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Dezembro.....	50
Tabela 30 – Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 12mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Setembro.....	50
Tabela 31 – Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 12mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Outubro.....	51
Tabela 32 – Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 12mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Dezembro.....	51
Tabela 33 – Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 16mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Setembro.....	52
Tabela 34 – Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 16mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de Outubro.....	52
Tabela 35 – Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 16mg.L <sup>-1</sup> ) no mês de de Dezembro.....	53
Tabela 36 – Tabela ANOVA para <i>m</i> grupos de <i>n</i> observações.....	53
Tabela 37 – Valores de F calculados para os parâmetros analisados (concentração 4 mg.L <sup>-1</sup> ).....	55

Tabela 38 – Valores de F calculados para os parâmetros analisados (concentração 12 mg.L <sup>-1</sup> ).....	55
Tabela 39 – Valores de F calculados para os parâmetros analisados (concentração 16 mg.L <sup>-1</sup> ).....	56
Tabela 40 – Valores de t calculados para os parâmetros analisados (concentração 4 mg.L <sup>-1</sup> ).....	57
Tabela 41 – Valores de t calculados para os parâmetros analisados (concentração 12 mg.L <sup>-1</sup> ).....	58
Tabela 42 – Valores de t calculados para os parâmetros analisados (concentração 16 mg.L <sup>-1</sup> ).....	58

<b>Lista de Figuras</b>	<b>Página</b>
Figura 1 – Fluxograma do tratamento e da redução da carência química nas águas residuais.....	8
Figura 2 – Estrutura de glucosinolato presente na semente de Moringa.....	19
Figura 3 – Frutos da árvore da Moringa oleífera.....	21
Figura 4 – Enquadramento regional dos CFM – Maputo.....	22
Figura 5 – Sementes trituradas de Moringa oleífera.....	25
Figura 6 – Processo de peneiração das sementes de Moringa .....	25
Figura 7 – Pré - tratamento do efluente bruto.....	29
Figura 8 – Amostra de efluente bruto antes do tratamento.....	34
Figura 9 – Amostra de efluente bruto após tratamento com sulfato de alumínio.....	35
Figura 10 – Amostras de efluente bruto após tratamento com de sementes de Moringa.....	35

**Lista de Anexos**

Anexo 1 - Curvas de calibração

Anexo 2 - Parâmetros de qualidade de águas residuais industriais

Anexo 3 - Tanque de armazenamento de água e Moringa usada no processo de tratamento da  
água

Anexo 4 - Equipamentos usados para as análises

## Capítulo I. Introdução

A actividade industrial está associada a uma certa degradação do ambiente, uma vez que não existem processos de fabrico totalmente limpos. O perigo das emissões industriais varia com o tipo de indústria, matérias-primas usadas, processos de fabrico, produtos fabricados ou substâncias produzidas, visto conterem componentes que afetam os ecossistemas. A contaminação das águas superficiais e subterrâneas por descargas de efluentes industriais e domésticos não é justificável, não só por questões de ética ambiental, mas também pela diversidade de tecnologias disponíveis para o tratamento destas águas. A água de efluentes industriais pode conter uma variedade de impurezas, destacando-se partículas coloidais, substâncias húmicas e microorganismos em geral. Tais impurezas provocam o surgimento de carga superficial negativa impedindo que as mesmas se aproximem umas das outras permanecendo no meio e adquirindo as suas características se as mesmas não forem alteradas. Para que as impurezas possam ser removidas é preciso alterar algumas características da água e consequentemente, das impurezas, por meio da coagulação/floculação e sedimentação das impurezas presentes na água (Di Bernardo, 2005).

A coagulação geralmente é realizada com sais de alumínio e de ferro, resulta de dois fenómenos: essencialmente químico que consiste nas reacções do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva, que depende da concentração do metal e do pH final da mistura;

Basicamente físico que consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contacto entre as impurezas presentes na água (Di Bernardo, 2005).

A coagulação depende das características da água e das impurezas presentes na água enquanto que na floculação, as interacções ocorrem entre impurezas desestabilizadas e entre o precipitado do metal formado ou espécies hidrolisadas positivas e as partículas para formação de aglomerados que posteriormente serão removidos por sedimentação, flotação ou filtração, não havendo necessidade de agitação muito intensa (Di Bernardo, 2005).

Como alternativa de utilização dos sais de ferro e de alumínio usam-se as sementes trituradas de Moringa no tratamento das águas residuais domésticas e industriais.



Este trabalho surge na perspectiva de avaliar a eficiência do uso das sementes trituradas de Moringa oleífera como coagulante natural no tratamento de água do tanque de armazenamento dos CFM, encontrando-se em aplicação para tratamento de águas residuais industriais e domésticas em vários países.

O processo de tratamento implementado foi escolhido tendo em conta factores económicos e a qualidade final do efluente que se pretende obter bem como pela busca de soluções viáveis especialmente para regiões onde a carência e escassez de meios principalmente para a agricultura, é um factor limitante.

## **1.1 Objectivos do trabalho**

### **1.1.1 Objectivo geral**

Analisar as potencialidades do uso das sementes trituradas de Moringa oleífera no tratamento do efluente bruto do tanque de armazenamento dos CFM.

### **1.1.2 Objectivos específicos**

- ▶ Medir parâmetros físico-químicos do efluente bruto e água tratada ( pH, temperatura, condutividade, turvação, cor e depósito, nitratos, nitritos, amoníaco, cloretos, dureza total, demanda bioquímica de oxigénio e coliformes fecais );
- ▶ Comparar os dados obtidos com amostras de efluente bruto tratadas com sulfato de alumínio e sementes de Moringa oleífera;
- ▶ Comprovar a viabilidade e eficiência do uso das sementes trituradas de Moringa oleífera como coagulante natural para tratamento do efluente bruto.

## **1.2 Metodologia**

O trabalho foi realizado obedecendo à seguinte metodologia:

### **Revisão bibliográfica**

A revisão bibliográfica consistiu numa pesquisa de pressupostos teóricos, relacionados com o tema em estudo, usando literatura escrita, internet, trabalhos de licenciatura como forma de efectuar um enquadramento teórico adequado deste trabalho.

### **Parte experimental**

O método experimental baseou-se nas seguintes técnicas:

- Preparação da análise;
- Realização de análises físico-químicas.

### **Análise e discussão dos resultados**

Feitas as experiências, tomou-se os resultados obtidos, fez-se a interpretação dos mesmos, discussão e comparação com os valores limites estabelecidos pelas normas de qualidade de água de Portugal.

### **Elaboração do relatório**

O relatório final foi elaborado tendo em conta conhecimentos adquiridos durante a realização do Estágio Laboral, na revisão bibliográfica, parte experimental e análise e discussão dos resultados.

## **1.3 Definição do problema**

### **1.4 Justificativa**

Actualmente, o saneamento básico e protecção do meio ambiente vêm ganhando relevância por parte de entidades locais e do governo. É neste contexto que com o tratamento de águas residuais dos CFM se pretende dar uma melhor qualidade das águas antes da sua descarga no meio ambiente. O processo de tratamento implementado foi escolhido tendo em conta factores económicos e a qualidade final do efluente que se pretende obter. A realização deste estágio surge na óptica de aprofundar os conhecimentos técnico-científicos em matéria de tratamento de águas residuais, que constitui um promissor mercado de trabalho em Moçambique.

### **1.5 Pergunta de Pesquisa**

Podem-se usar sementes de Moringa oleífera como coagulante no tratamento de águas do efluente bruto do tanque de armazenamento dos Caminhos de Ferro de Mocambique?

## **Capítulo II. Revisão Bibliográfica**

Tratamento de água é um conjunto de procedimentos físicos e químicos que são aplicados à água para que esta esteja em condições adequadas para o consumo.. O processo de tratamento de água à torna isenta de qualquer tipo de contaminação, evitando a transmissão de doenças (Sperling, 1996).

### **2.1 Águas residuais**

São todas as águas que resultam da utilização por diversos processos. Em função da sua origem existem dois tipos de águas residuais: as domésticas e as industriais (Sperling, 1996).

As águas residuais domésticas são geralmente resultantes da actividade habitacional podendo ser fecais ou negras e saponáceas. Dentro desta classe pode-se ainda considerar:

Águas residuais turísticas com características sazonais e podem apresentar menor ou maior carga poluente conforme a proveniência, de estabelecimentos hoteleiros isolados ou de complexos turísticos importantes. As águas residuais pluviais que provêm da precipitação atmosférica onde a sua carga poluente em termos de sólidos suspensos pode chegar a ser muito superior à das águas residuais domésticas. Pode-se considerar ainda as águas residuais industriais, as que são susceptíveis de descarga em colectores municipais e resultam de actividades industriais e as suas características são em função do tipo e processo de produção. Caso particular deste tipo é as águas residuais pecuárias (ou industriais biodegradáveis), resultantes da exploração de suinicultura, bovinicultura e aviários (Sperling, 1996).

Finalmente, deve ainda considerar-se as resultantes da mistura de águas residuais domésticas com industriais e/ou pluviais - as águas residuais urbanas (Sperling, 1996).

### **2.2 Tratamento de águas residuais**

É a designação genérica para um vasto número de técnicas, geralmente implementadas numa Estação de tratamento de águas residuais (ETAR), onde se combinam os sistemas e tecnologias necessários que permitem adequar as águas residuais à qualidade requerida para descarga no meio receptor (Sperling, 1996).

### **2.3 Estação de Tratamento de Águas Residuais**

Designa-se também por Estação de tratamento de efluentes (ETE), é uma infraestrutura que trata as águas residuais de origem doméstica e/ou industrial, comumente chamadas de esgotos sanitários

ou despejos industriais, para depois serem escoadas para o mar ou rio com um nível de poluição aceitável através de um emissário, conforme a legislação vigente para o meio ambiente receptor. Numa ETAR as águas residuais passam por vários processos de tratamento com o objectivo de separar ou diminuir a quantidade da matéria poluente da água (Sperling, 1996).

#### **2.4 Caracterização das águas residuais**

As águas residuais podem conter substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas e suspensas na água:

- Provenientes de água superficial ou subterrânea que constitui a origem de água bruta para produção de água para consumo humano;
- Adicionadas e produzidas em reacções químicas e bioquímicas no decurso do processo de tratamento de água bruta para produção de água potável;
- Adicionadas no decurso da utilização da água de abastecimento público para múltiplas actividades: uso doméstico, comercial, industrial e outras;
- Carreadas pelas águas pluviais em sistemas de drenagem unitários;
- Introduzidas com a água de infiltração nos colectores;
- Produzidas por reacções químicas e bioquímicas durante o transporte no sistema de drenagem;
- Adicionadas durante o transporte no sistema de drenagem para controlo de cheiro e de corrosão (Mara, 1978).

As águas residuais consistem, assim, numa complexa mistura de substâncias, povoada por numerosos microrganismos de diversos tipos, muitos dos quais são de origem fecal e alguns são patogénicos. Nas águas residuais as substâncias dissolvidas e em suspensão coloidal e verdadeira representam apenas 0,1% (Mara, 1978).

O tratamento convencional das águas residuais, vulgarmente denominado como tratamento secundário, não remove completamente os constituintes das águas residuais, que assim são lançados no meio receptor, geralmente uma massa de água superficial, mas também o solo em casos menos frequentes, o que permite que possam atingir águas subterrâneas. Deste modo, a captação de água superficial e até subterrânea para abastecimento público, industrial ou agrícola, configura, quase sempre, um caso de reutilização indirecta e não planeada de efluentes de ETAR. Nos projectos de reutilização planeada os constituintes das águas residuais não removidos na ETAR devem ser tidos em consideração, especialmente os microrganismos patogénicos, que podem originar problemas de saúde pública, mas também os compostos não biodegradáveis, mais

persistentes no ambiente, alguns dos quais com impactos ambientais cumulativos e adversos para os ecossistemas e mesmo para o homem (Mara, 1978).

## **2.5 Caracterização do Tipo de Tratamento**

Embora nos últimos anos se tenha verificado um aumento no interesse pelo tratamento químico de águas residuais, o seu uso é restrito às operações físicas e aos processos biológicos. A caracterização desta complexa entidade que são as águas residuais é sistematizada em três grandes grupos de características: físicas, químicas e biológicas (Mara, 1978).

### **2.5.1 Caracterização Física**

#### **1) - Determinação da temperatura.**

A temperatura é um indicador da facilidade de sedimentação.

#### **2) - Determinação da cor.**

A cor é um indicador da indústria em causa.

#### **3) - Determinação da turvação.**

Constata a presença de partículas coloidais não sedimentáveis e de sólidos suspensos.

#### **4) - Determinação de sabores e odores.**

Propriedade que está directamente associada à existência de impurezas orgânicas.

#### **5) - Determinação dos sólidos totais.**

É o critério mais simples de medição da carga poluente numa água residual. Este inclui os sólidos dissolvidos e os sólidos suspensos (Sperling, 1996).

### **2.5.2 Caracterização Química**

#### **1) - Determinação do pH.**

O pH numa água residual permite verificar qual o seu carácter (ácido, neutro ou alcalino).

**2) - Determinação da alcalinidade.**

Determina o número de equivalentes de ácido forte para neutralizar a amostra até ao ponto de equivalência (exemplo: os principais elementos existentes na água são os carbonatos, bicarbonatos e os hidróxidos).

**3) - Determinação da condutividade.**

É uma medida da capacidade de uma solução aquosa para conduzir a corrente eléctrica.

**4) - Determinação de dureza.**

É um determinante da espuma com sabão que leva à formação de incrustações nos recipientes e nas condutas.

**5) - Determinação do oxigénio dissolvido.**

Permite a determinação da quantidade de carga de poluentes orgânicos existentes na amostra. Geralmente, o método utilizado é o Método de Winkler.

**6) - Determinação da Demanda bioquímica de oxigénio**

A determinação da BOD permite quantificar o oxigénio necessário à oxidação da matéria orgânica decomponível por meio da acção bioquímica aeróbica. O método mais utilizado é também o Método de Winkler (Sperling, 1996).

**2.5.3 Caracterização Biológica**

**1) - Determinação dos coliformes.**

A determinação dos coliformes totais e fecais é um indicador de presença de matéria orgânica (Sperling, 1996).

## 2) - Determinação dos Streptococcus Fecais e dos Colesterídeos.

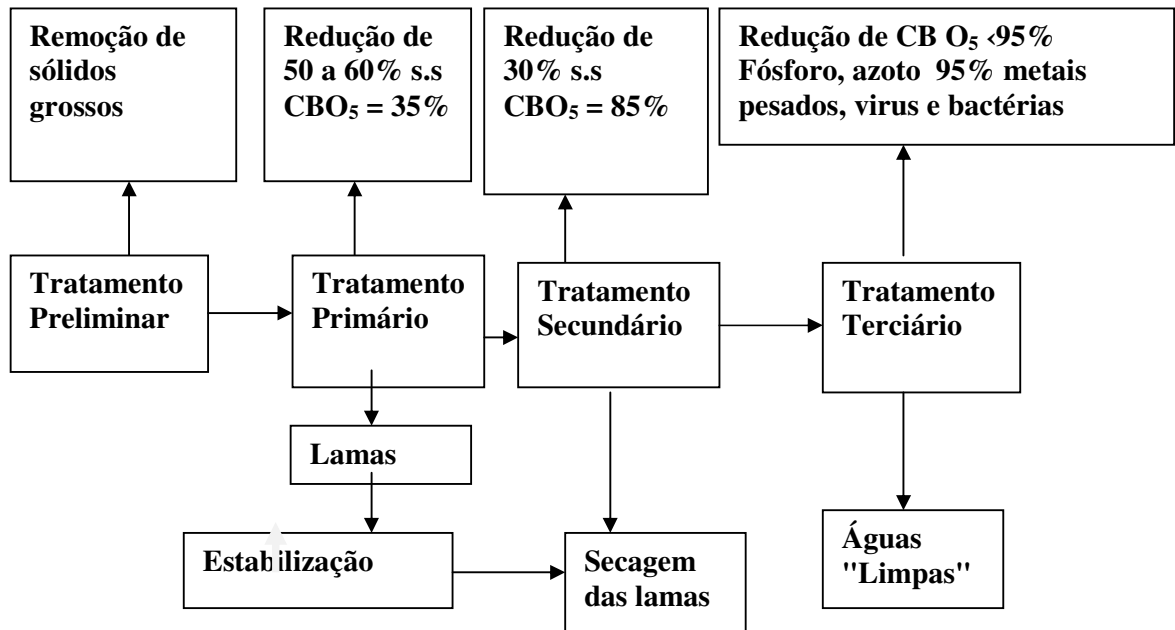


Figura 1 - Fluxograma do tratamento e da redução da carência química nas águas residuais.

### 2.6 Fases do tratamento das águas residuais

Existem quatro fases de tratamento da água: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário.

#### 2.6.1 Tratamento preliminar

No primeiro conjunto de tratamentos, designado por tratamento preliminar, o esgoto é sujeito aos processos de separação dos sólidos mais grossos tais como a gradagem que pode ser compostos por grades grossas, grades finas e/ou peneiras rotativas, a desaeração nas caixas de areia e o desengorduramento nas chamadas caixas de gordura ou em pré-decantadores. Nesta fase, o esgoto é, desta forma, preparado para as fases de tratamento subsequentes, podendo ser sujeito à uma pré-aeração e a uma equalização tanto de caudais como de cargas poluentes ou resíduos (Sperling, 1996).

#### 2.6.2 Tratamento primário

Apesar de o esgoto apresentar um aspecto ligeiramente mais razoável após a fase de tratamento preliminar, possui ainda inalteradas as suas características poluidoras. Segue-se o tratamento propriamente dito. A primeira fase de tratamento é designada por tratamento primário, onde a matéria poluente é separada da água por sedimentação nos sedimentadores primários. Este

processo de acção física pode, em alguns casos, ser auxiliado pela adição de agentes químicos que através da coagulação/floculação possibilitam a obtenção de flocos de maiores dimensões e assim mais fáceis de decantar.

Após o tratamento primário, a matéria poluente que permanece na água é de reduzidas dimensões, normalmente constituída por colóides, não sendo por isso passível de ser removida por processos físico-químicos. A eficiência de um tratamento primário pode atingir 60% ou mais dependendo do tipo de tratamento e da operação da ETE (Sperling, 1996).

### **2.6.3 Tratamento secundário**

Segue-se o chamado processo de tratamento secundário, geralmente consistindo num processo biológico, do tipo lodo activado ou do tipo filtro biológico, onde a matéria orgânica (poluente) é consumida por micro-organismos chamados reactores biológicos. Estes reactores são normalmente constituídos por tanques com grande quantidade de micro-organismos aeróbicos, havendo por isso a necessidade de promover a sua aeração. O esgoto saído do reactor biológico contém uma grande quantidade de microorganismos, sendo muito reduzida a matéria orgânica remanescente. A eficiência de um tratamento secundário pode atingir 95% ou mais dependendo da operação da ETE. Os micro-organismos sofrem posteriormente um processo de sedimentação nos designados sedimentadores (decantadores) secundários.

Finalizado o tratamento secundário, as águas residuais tratadas apresentam um nível reduzido de poluição por matéria orgânica, podendo na maioria dos casos, ser descarregadas no meio ambiente receptor (Sperling, 1996).

### **2.6.4 Tratamento terciário**

Normalmente antes do lançamento final no corpo receptor, é necessário proceder à desinfecção das águas residuais tratadas para a remoção dos organismos patogénicos ou, em casos especiais, à remoção de determinados nutrientes, como o nitrogénio e o fósforo, que podem provocar a eutrofização das águas receptoras. É nesta fase de tratamento que ocorrem a remoção de nutrientes e desinfecção da água.

**a) Remoção de nutrientes** - as águas residuais podem conter altos níveis de nutrientes como nitrogénio e fósforo. A emissão em excesso destes pode levar ao acúmulo de nutrientes, fenómeno chamado de eutrofização, que encoraja o crescimento excessivo de algas e cianobactérias (algas azuis). A maior parte destas algas acaba morrendo, porém a decomposição das mesmas por bactérias remove oxigénio da água e a maioria dos peixes morrem. Além disso, algumas espécies



de algas produzem toxinas que contaminam as fontes de água potável (as chamadas cianotoxinas). Há diferentes processos para remoção de nitrogénio e fósforo:

A desnitrificação que requer condições anóxicas (ausência de oxigénio) para que as comunidades biológicas apropriadas se formem. A desnitrificação é facilitada por um grande número de bactérias. Métodos de filtração em areia podem reduzir a quantidade de nitrogénio. O sistema de lodo ativado, se bem projectado, também pode reduzir significativa parte do nitrogénio.

A remoção de fósforo, que pode ser feita por precipitação química, geralmente com sais de ferro (ex. cloreto férrico) ou alumínio (ex. sulfato de alumínio). O lodo químico resultante é difícil de tratar e o uso dos produtos químicos torna-se caro. Apesar disso, a remoção química de fósforo requer equipamentos muito menores que os usados por remoção biológica (Sperling, 1996).

### **b) Desinfecção**

Permite eliminar bactérias residuais e proteger a água de possíveis recontaminações durante o seu trajecto até ao consumidor. A desinfecção é realizada geralmente com cloro através de uma solução de hipoclorito de sódio (NaOCl). O hipoclorito apresenta algumas vantagens relativamente a outros reagentes para cloração. É mais fácil de preparar, é mais barato e o seu armazenamento não requer sistemas de segurança tão complexos como para o cloro gasoso. Nesta fase de tratamento da água, desinfecção final, pressupõe-se que a água já se encontra isenta de matéria orgânica ou, pelo menos, com um número muito reduzido (Sperling, 1996).

O método de cloração revelou-se entre os processos artificiais o de menor custo e de elevado grau de eficiência em relação a outros processos como a ozonização que é bastante dispendiosa e a radiação ultravioleta que não é aplicável a qualquer situação (Sperling, 1996).

## **2.7 Métodos de tratamento de águas residuais**

### **2.7.1 Flotação**

Elimina as microalgas presentes na água, que se vão acumulando na superfície do flutador e que são removidas por uma ponte raspadora (sendo enviadas para a câmara de mistura de lamas). É uma tecnologia de tratamento cada vez menos usada, tendo sido ultrapassada pela pré-oxidação com ozono (Sperling, 1996).

### **2.7.2 Pré-ozonização ou pré-oxidação com ozono**

Pelo facto do ozono ser um oxidante bastante forte, permite retirar cor à água, oxidar o ferro, manganês e compostos organoclorados presentes na água. Permite controlar os cheiros e sabores, assim como a destruição de microalgas que persistam (Sperling, 1996).

### **2.7.3 Controlo da alcalinidade da água (injecção de agente regulador de pH)**

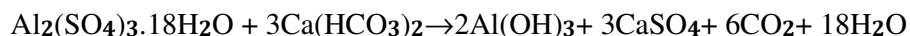
É de extrema relevância o controlo da alcalinidade de uma água, pois não adianta adicionar reagentes sem que a água apresente alcalinidade. Geralmente, a água de origem superficial apresenta algum teor em anidrido carbónico (CO<sub>2</sub>), o que confere acidez à água. Para a correcção (diminuição) da acidez da água, o agente regulador de pH utilizado é a água de cal. O controlo da alcalinidade da água deve ser feito antes do processo de mistura rápida, uma vez que este é afectado pelo pH, o que, por conseguinte, afecta a dose de coagulante. Para determinar a dose de coagulante associada ao pH óptimo da água deverão ser efectuados ensaios de jar-test (Sperling, 1996).

### **2.7.4 Coagulação**

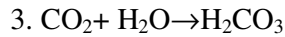
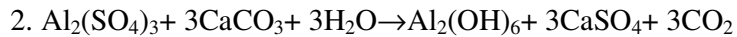
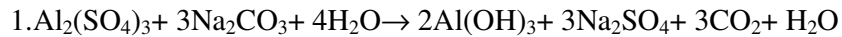
Este método de tratamento consiste em transformar em flocos impurezas em estado coloidal, suspensões, etc, e, posteriormente, removê-los em decantadores. Neste processo é adicionado o coagulante - sulfato de alumínio [Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>] à água a ser tratada. A reacção química resultante neutraliza as cargas das partículas coloidais e forma um precipitado (flocos) para a remoção subsequente. O mecanismo da coagulação consiste em alterar a carga das partículas (neutralização), provocando a aglutinação das mesmas, formando aglomerados maiores, tendo como consequência um aumento na velocidade de sedimentação do conjunto das partículas (flocos). A carga negativa das partículas foi causada por uma camada fixa constituída de aniões. A neutralização das cargas negativas pode ser efectuada pela adição de substâncias que possuam catiões polivalentes, estes substituem os monovalentes da estrutura da partícula, havendo como consequência a neutralização das cargas, favorecendo a junção das partículas (Sperling, 1996).

Esquemáticamente, temos: sulfato de alumínio (alúmen), sulfato ferroso, cloreto férrico e sulfato férrico reagem com a alcalinidade natural da água, ou adicionada, para formar hidróxido de alumínio, ou hidróxido de ferro, de acordo com as reacções:

#### **a) Reacções com a alcalinidade natural:**



**b) Reações com a alcalinidade adicionada:**

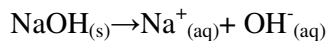


**2.7.5 Floculação**

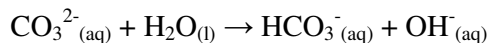
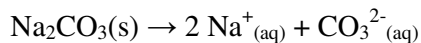
Neste processo as partículas sólidas aglomeram-se em flocos para que sejam removidas com mais facilidade. Este processo consiste na formação e precipitação de hidróxido de alumínio  $\text{Al}(\text{OH})_3$  que é insolúvel em água e “carrega” as impurezas para o fundo do tanque.

Primeiramente, o pH da água tem que ser elevado pela adição de uma base ou de um sal com propriedades básicas (carbonato de sódio):

Base:

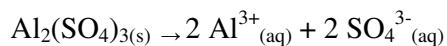


Sal:

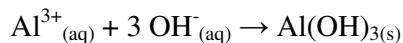


Após o ajuste do pH, adiciona-se o sulfato de alumínio, que irá dissolver na água que depois precipita na forma de hidróxido de alumínio.

dissolução:



precipitação:



**2.7.6 Decantação**

Permite a separação da fase líquida (água) e da fase sólida (flocos – que vão originar as lamas) por acção da gravidade.

**2.7.7 Filtração**

A água da parte superior do tanque de sedimentação passa por um filtro que contém várias camadas de cascalho e areia, e assim retiram as impurezas menores.

A filtração através de areia é responsável pela redução do número de bactérias e pela remoção de impurezas em suspensão na água. Permite também eliminar os flocos restantes assim como o azoto

amoniaco ainda presente. É de salientar que os filtros após um determinado período de funcionamento colmatam, devendo assim ser lavados em contra-corrente com água clorada (água tratada) para promover a descolmatação do leito filtrante (Sperling, 1996).

### **2.7.8 Ozonização intermédia**

Desinfecção com ozono, oxidando grande parte da matéria orgânica (Sperling, 1996).

### **2.7.9 Filtração em Carvão Activado Granular (CAG)**

Retém alguns poluentes orgânicos, como os pesticidas. Permite também eliminar fenóis e toxinas, bem como substâncias que podem conferir odores e sabores desagradáveis à água (Sperling, 1996).

## **2.8 Mecanismos de Coagulação**

Além de microorganismos, outras inúmeras impurezas podem prejudicar a saúde humana, caso não sejam reduzidas ou eliminadas. Porém, estas impurezas não se aproximam umas das outras, é necessária a adição de um agente coagulante (Sperling, 1996).

Os coagulantes químicos são os mais utilizados e entre eles o mais comum é o sulfato de alumínio, devido o seu baixo custo e facilidade de obtenção. O uso do sulfato do alumínio apresenta desvantagens como:

Controle rígido sobre a sua concentração residual na água tratada destinada ao consumo humano bem como no processo industrial de produção de alimentos. Produção de lodo não-biodegradável e danos à saúde (Sperling, 1996).

Uma das alternativas que surge neste contexto é a utilização de coagulantes naturais, como por exemplo as sementes da Moringa oleífera LAM, que contém agentes activos com propriedade coagulante. A Moringa oleífera LAM como agente coagulante não altera o valor do pH da água bruta, não há alteração significativa do pH e da alcalinidade da água após o tratamento e não causa problemas de corrosão. É biodegradável, menos toxicidade, produz lodo residual biodegradável (Guedes, 2004).

## **2.9 Processos de coagulação/floculação para eliminação da turvação de águas**

As águas, em geral podem conter uma variedade de impurezas suspensas, destacando-se entre elas as partículas coloidais de substâncias orgânicas e inorgânicas e as substâncias húmicas. Estas impurezas, dependendo da sua natureza e das características físico-químicas da água, apresentam carga superficial de carácter negativo ou positivo. Portanto, a repulsão electrostática entre as

mesmas impede que elas se aproximem, e faz com que permaneçam em suspensão e com velocidades de sedimentação muito baixas. Assim, estas partículas dificilmente sofrem decantação natural, conferindo à água características de turvação, cor e odor. A remoção deste material suspenso nas operações de tratamento de água é de extrema importância, e a isto se deve o rigor dos padrões de turvação exigidos para água de consumo humano. É sabido que partículas suspensas em águas naturais constituem veículos de transporte de contaminantes orgânicos e inorgânicos, de compostos responsáveis pelo sabor, odor e coloração, e de agentes microbianos patogênicos. A qualidade das águas de turvação elevada é melhorada pelo aumento da velocidade de sedimentação das partículas em suspensão, num procedimento denominado desestabilização da dispersão. Esta acção baseia-se na redução da carga superficial característica do sistema disperso água-partícula sólida, por adição de agentes denominados coagulantes e floculantes (Mendes, 1989).

Em termos de características do processo, a coagulação pode ser considerada como a etapa inicial da desestabilização da dispersão, sendo o coagulante geralmente adicionado à água antes ou durante uma forte agitação do meio, efectuada com o intuito de proporcionar uma distribuição uniforme do coagulante na água contaminada e aumentar a energia cinética das partículas tornando-as aptas para superar a barreira energética de repulsão proposta pela teoria de Deryagin, Landay, Vervev e Overbek (DLVO). Por sua vez a floculação é realizada por adição de um agente posteriormente à adição do coagulante, ocorrendo em um ambiente menos turbulento, para promover a formação de agregados (flocos) de dimensões tais que sejam eficientemente removidos por sedimentação (Mendes, 1989).

Na etapa de coagulação podem estar envolvidos dois fenómenos: um químico e outro físico. O químico consiste nas reacções do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas carregadas. O físico consiste no transporte destas espécies hidrolisadas até à superfície das impurezas suspensas. Na floculação ocorre a formação de pontes entre as unidades formadas por ligações superficiais entre coagulante e partícula (Mendes, 1989).

Na realidade as diferenças existentes entre as etapas de coagulação e floculação nem sempre são muito claras, e os fenómenos envolvidos podem ser de naturezas diversas. A coagulação pode ocorrer por acção dos seguintes mecanismos: compressão da camada difusa e da camada eléctrica das partículas, adsorção do agente coagulante e neutralização da carga superficial, varredura das partículas suspensas, adsorção do agente coagulante e formação de pontes. Estes mecanismos serão descritos a seguir (Mendes, 1989):

**a ) Compressão da camada difusa da camada eléctrica dupla das partículas:**

A introdução de um electrólito indiferente (que não apresenta fenómenos de hidrólise ou de adsorção) num sistema coloidal irá causar um aumento na densidade de cargas na camada difusa e diminuir a esfera de influência das partículas. Ou seja, concentrações elevadas de iões positivos e negativos (força iónica elevada) na água, acarreta um acréscimo do número de iões na camada difusa que, para que se mantenha a região da dupla camada electricamente neutra, necessita ter um volume reduzido (diminuição da espessura), ocorrendo assim a sua compressão. Isto ocasiona a desestabilização do sistema coloidal, pois possibilita uma maior aproximação entre as partículas (Mendes, 1989).

**b ) Adsorção do agente coagulante e neutralização da carga superficial:**

Algumas espécies químicas, tais quais os agentes coagulantes, são capazes de serem adsorvidas fisicamente na superfície das partículas coloidais. Ao adicionar-se o coagulante na dispersão coloidal ocorrem interacções entre coagulante - colóide e, como o agente é de carga contrária à da superfície das partículas coloidais, ocorrerá neutralização desta carga. Isto diminui as forças de repulsão e desestabiliza o sistema. Esta desestabilização exige dosagens de coagulante inferiores às do mecanismo de compressão da camada difusa (Mendes, 1989).

**c ) Varredura de partículas suspensas:**

Neste mecanismo, conforme a quantidade de coagulante adicionado, o pH da mistura e da concentração de alguns tipos de iões presentes na água, poderá ocorrer a formação de precipitados como hidróxidos de alumínio, hidróxidos de ferro, ou outros, dependendo do coagulante utilizado. As partículas coloidais são envolvidas pelos precipitados sendo então carregadas. O mecanismo de varredura produz flocos de maior tamanho com velocidade de sedimentação mais alta do que no mecanismo de adsorção/neutralização (Mendes, 1989).

**d ) Adsorção de agente coagulante e formação de pontes:**

Este mecanismo é frequentemente desenvolvido quando se utiliza compostos orgânicos- polímeros sintéticos ou naturais - como coagulantes, que apresentam espaços ionizáveis ao longo das suas cadeias. Estes polímeros adsorvem-se na superfície das partículas coloidais por uma parte da molécula contendo grupos funcionais reactivos, e o restante da mistura mantém-se na solução podendo reagir com espaços de adsorção livres de outra partícula coloidal, formando uma ponte entre elas (Mendes, 1989).

A adsorção do segmento do polímero na superfície da partícula pode ocorrer por diferentes interações físicas e químicas, dependendo das características do mesmo e da superfície. Quando o polímero e a superfície possuem cargas opostas, a atração electrostática é, na maioria das vezes, a base da interação. Em alguns casos outras interações podem ser mais significativas que a atração electrostática, são elas: ponte de hidrogénio e pontes de Van der Waals (Mendes, 1989).

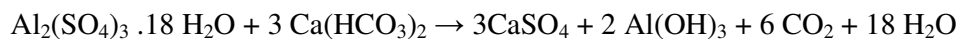
### 2.9.1 Coagulantes e floculantes comumente usados

Os coagulantes dividem-se em duas classes: os inorgânicos e os orgânicos.

Grande parte dos coagulantes é constituída por sais de alumínio e de ferro.

O  $[Al_2(SO_4)_3]$  (sulfato de alumínio) é o coagulante mais comum seguido do  $AlCl_3$  (cloreto de alumínio),  $Na_2Al_2O_4$  (aluminato de sódio), WAC (clorosulfato de alumínio parcialmente hidrolisado) e o PCB ( policloreto básico de alumínio ).

Quando o sulfato de alumínio é adicionado à água residual contendo alcalinidade ao bicarbonato de cálcio, a reacção resultante pode ser assim descrita:



O alumínio,  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot H_2O]$ , é utilizado para promover coagulação. Em meio ácido, o ião  $Al^{3+}$  encontra-se cercado de seis moléculas de água na forma da espécie  $Al(H_2O)_6^{3+}$ . Em valores de pH menos ácidos a espécie sofre hidrólise e produz iões  $H^+$ . O emprego de compostos de alumínio no tratamento de água aumenta a concentração do alumínio dissolvido no produto final, gera grande volume de lodo (em relação aos demais coagulantes) e acentua acidez no meio tratado, em virtude dos processos de hidrólise envolvidos (Pavanelli, 2001).

Dos sais de ferro, utiliza-se como coagulante o sulfato ferroso, o sulfato ferrico e o cloreto ferrico. O sulfato ferroso é muito útil para tratar águas que apresentem pH elevado, por exemplo, na faixa de 8,5 - 11,0 (Pavanelli, 2001).

O sulfato ferrico é usado para o tratamento de águas coradas e águas ácidas. A faixa de pH em que é efectivo vai de 5,0 - 11,0. No uso do sulfato ferrico, a formação de flocos é muito rápida devido ao alto peso molecular os flocos são muito densos, e o tempo de sedimentação é reduzido quando comparado com os sais de alumínio. O lodo formado também é mais compacto. A utilização do cloreto ferrico desenvolve flocos maiores com amplo intervalo de pH (5,0 - 11,0). Além da diminuição drástica de turvação, este sal baixa fortemente a demanda bioquímica de oxigénio, e elimina fosfatos. Elimina também uma boa parte de metais pesados (mercúrio, chumbo) e/ou tóxicos (arsénio, selénio e bário), quando a coagulação é realizada em valores elevados de pH. Em

comparação com os sulfatos, os cloretos ferricos têm baixo consumo de alcalinidade, e conseqüentemente, menor redução do pH (Pavanelli, 2001).

Não existem evidências conclusivas sobre o efeito danoso da ingestão de água contendo ferro à saúde humana, embora existam estudos epidemiológicos que correlacionaram a presença excessiva de ferro no organismo com patologias como o mal de Alzheimer e o mal de Parkinson, além de câncer e distúrbios cardiovasculares (Martyn et al., 1989).

Os polímeros actuam como agentes de coagulação, e também de floculação por formação de pontes de ligação entre as partículas coloidais, levando à formação de aglomerados mais fáceis de decantar (Kawamura, 1991). Trata-se de moléculas grandes, solúveis em água. O termo polieletrólito é usado para indicar um polímero que possui espaços ionizáveis, normalmente um ou mais que se repetem por unidade manómerica. Os polímeros são classificados de acordo com a carga eléctrica dos espaços ionizáveis presentes na sua cadeia. Os que possuem carga negativa são chamados aniónicos. Os carregados positivamente são chamados catiónicos e os que não possuem carga eléctrica são denominados não-iónicos (Kawamura, 1991). Os aniónicos e os não-iónicos são frequentemente usados juntamente com coagulantes metálicos para promoverem ligações entre coloides, com o objectivo de desenvolver flocos maiores e mais resistentes. Trata-se de auxiliares de coagulação, e a sua dosagem requerida, é geralmente, da ordem de 0,1 - 1,0 mg/L. Os polímeros podem ser sintéticos ou naturais (Kawamura, 1991).

Polímeros sintéticos são substâncias químicas orgânicas de cadeia longa e de alta massa molar, e estão disponíveis sobre uma variedade de nomes comerciais. Alguns exemplos de polímeros sintéticos que são utilizados para o tratamento de efluentes industriais e tratamento de água para o consumo humano: o óxido de polietileno, o álcool polivinílico, polietileno imina. Os polímeros naturais compreendem compostos orgânicos contendo espaços ionizáveis tais como o amido e seus derivados, compostos de celulose e proteínas, e também são utilizados como auxiliares de coagulação. Alguns polieletrólitos naturais podem ser extraídos de algumas espécies vegetais e animais, é o caso da espécie *Moringa oleífera* que foi estudada neste trabalho (Kawamura, 1991).

Outro trabalho envolvendo polieletrólitos naturais foi desenvolvido por Kawamura (1991) que comprovou a eficácia da xitozana e do alginato de sódio no tratamento da água para o consumo humano, quando comparados aos polieletrólitos sintéticos. Os dois compostos naturais indicaram algumas vantagens como a biodegradabilidade, não toxicidade e produção de uma menor quantidade de lodo quando comparado com os compostos de alumínio.

Grande parte dos polímeros floculantes é do tipo poliácridamida e poliácridamida/copolímero do ácido poliácrrílico. O maior benefício obtido com estes polímeros floculantes é um grande aumento



do tamanho do floco, resultando uma sedimentação mais rápida e diminuição da dosagem do coagulante a ser utilizado. Como auxiliar de coagulação ainda podem ser utilizadas argilas bentoníticas, sobretudo no tratamento de águas contendo alto teor de cor, baixa turvação e baixo conteúdo mineral. Os flocos de ferro ou de alumínio obtidos nessas condições, são em geral, demasiado leves para decantar rapidamente. A adição de argila resulta num aumento do peso do floco, melhorando a decantabilidade. As partículas de argila podem, também, adsorver compostos orgânicos, melhorando o tratamento. Outros agentes usados para aumentar o peso dos flocos são: a sílica em pó, calcário e carvão activado, este último tem a vantagem adicional de possuir alta capacidade de adsorção (Kawamura, 1991).

### 2.9.2 Moringa oleífera- coagulante natural alternativo em relação aos convencionais

A estrutura do glucosinolato presente na semente da Moringa é apresentada na figura 2.

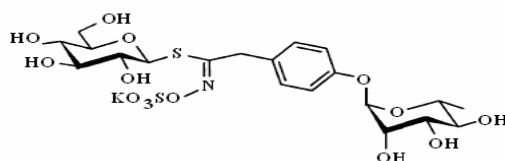


Figura 2: Estrutura de glucosinolato presente na semente de Moringa.

Fonte: GUEYRARD et al. (2000)

Em diferentes países do continente Asiático, Africano e Sul -Americano, várias plantas têm sido utilizadas como coagulante natural. O género Moringa da família Moringaceae, e especialmente as espécies Moringa oleífera e Moringa stenopetala, destacam-se como uns dos mais promissores. A Moringa oleífera é uma árvore de origem indiana e se tornou pantropical, ou seja habita qualquer região dos trópicos. A Moringa stenopetala é originária da Etiópia (Gerdes 1996).

A árvore da Moringa oleífera tem um crescimento rápido, podendo alcançar 12,0 metros de altura. No primeiro ano, chega a ter 4,0 metros, podendo até frutificar. Não suporta baixas temperaturas, tendo um desenvolvimento ideal na faixa entre 24-30°C. A propagação da espécie pode ser feita através de sementes, mudas ou estacas, não apresentando exigências específicas para o tipo de solo onde será cultivada a não ser a impossibilidade de desenvolver em solos encharcados (Gerdes 1996; Trier 1995).

**Tabela 1 - Composição química das sementes de Moringa**

A composição química das sementes de Moringa está representada na tabela 1

---

Composição	Semente
Humidade (%)	6,3
Açúcares solúveis (g/100g )	3,14
Oligossacarídeos (g/100g)	3,31
Amido (g/100g)	6,02
Proteínas (g/100g)	39,3
Lipídios (g/100g)	18,8

---

**FONTE:** PRICE, 2000

O agente coagulante é encontrado nas sementes e estas são encontradas no interior dos frutos (figura 3).



Figura 3: Frutos da árvore da Moringa oleifera

Fonte: [www.produto.mercadolivre.com.br/MLB-205451973-sementes-de-moringa-oleifera-pronta-para-plantio-ou-consumo- JM](http://www.produto.mercadolivre.com.br/MLB-205451973-sementes-de-moringa-oleifera-pronta-para-plantio-ou-consumo- JM)

O tratamento da água turva com sementes de Moringa possui efeito físico e biológico. O físico consiste na diminuição da turvação da água através da coagulação e sedimentação das partículas em suspensão. O efeito biológico permite a eliminação de microorganismos patogênicos por sedimentação, pois grande parte destes está ligada as partículas em suspensão (Gerdes, 1996).

O extrato das sementes descascadas secas e trituradas constitui um coagulante ou auxiliar de coagulação que pode ser empregado em substituição ao alumen no tratamento de águas de alta turvação (Gerdes, 1996).

### Capítulo III. Localização e descrição do local de estudo

A Empresa Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique é uma empresa pública que gere os sistemas ferroviário e portuário Moçambicanos, operam comboios destinados a passageiros e cargas, sendo a CFM responsável pelo controle dos portos do País. O sistema ferroviário foi usado para servir seis portos, Maputo, Beira, Nacala, Xai – Xai, Inhambane e Quelimane e está subdividida em regiões, sendo elas: CFM Sul, CFM Norte e CFM Centro.

Nos CFM Sul concentra-se a maior parte da rede ferroviária de Moçambique, com 1073 Km de ferrovia. O corredor de Maputo compreende o porto de Maputo e 3 linhas de conexão directa com o Zimbabwe, África do Sul e Swazilândia, nomeadamente: linha de Ressano Garcia, linha de Goba e linha do Limpopo.

A Estação de Maputo localiza - se entre as Avenidas 25 de Setembro e Guerra Popular (Praça dos Trabalhadores), na Baixa da Cidade de Maputo e foi projectada pelos arquitectos Alfredo Augusto Lisboa de Lima, Mario Veiga e Ferreira da Costa, construída entre 1913 – 1916, tem uma extensão de 3.05 Km.

A figura 4 apresenta o mapa ilustrativo de enquadramento regional e transfronteiriço do local de estudo.



Figura 4 – Enquadramento regional dos CFM - Maputo.  
Fonte: Adaptado de MAPUTO (2010)

Para além de transporte de carga e passageiros existe um Departamento localizado no Posto Díesel das Oficinas Gerais dos CFM onde faz-se a recuperação de vagões recolhidos em vários pontos de Moçambique e que contava até à data com 150 vagões. Este Departamento dispõe de um laboratório de análise de óleos e lubrificantes, com 3 funcionários e um Departamento de manutenção com 16 funcionários.

Existe também nas Oficinas Gerais dos CFM um Departamento de gestão e tratamento de resíduos, onde são armazenadas as águas residuais resultantes de todas as actividades da instituição como por exemplo águas misturadas com óleos e lubrificantes usados nas locomotivas e também detergentes resultantes de diferentes usos. Essas águas são encaminhadas para um sistema de drenagem que estabelece uma ligação com o tanque por meio de tubos que permitem o transporte das águas. Chegadas ao tanque as águas são separadas dos óleos por decantação e as lamas resultantes depositam-se no fundo do tanque, e as águas contendo poluentes leves são escoadas para o meio receptor. Não é mencionado neste trabalho qual o destino que é dado às águas por questões de ética.

## Capítulo IV. Parte Experimental

### 4.1 Preparação das análises

Esta etapa consistiu nos seguintes procedimentos antes da realização das análises, os quais foram: a colecta de amostras de efluente bruto e processos de recolha, secagem e trituração das sementes de Moringa oleífera.

#### 4.1.1 Amostragem

As amostras de efluente bruto foram colectadas num único tanque, instalado no posto diesel das Oficinas Gerais dos CFM. Estas amostras foram recolhidas nos meses de Setembro a Dezembro. A colheita foi efectuada por imersão directa do frasco previamente lavado na água do local de amostragem. As amostras para análise microbiológica foram recolhidas em frascos esterilizados de 1000 mL fornecidos pelo LNHA.

#### 4.1.2 Conservação das amostras

A conservação das amostras teve início no local da amostragem logo após a colheita, em frascos de plástico (amostras para análise química) e de vidro, previamente esterilizados (amostras para análise microbiológica). Os frascos foram bem fechados e colocados em um colman contendo gelo. Foram usados os procedimentos indicados na tabela 2.

**Tabela 2: Técnicas de conservação das amostras**

Parâmetros	Frasco	Técnica de conservação	Tempo máximo de conservação
Cl <sup>-</sup>	Polietileno	NaOH a 10% até pH= 11; refrigeração	7 dias
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Polietileno	Refrigeração a 4°C	7 dias
BOD	Vidro	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado até pH= 2, refrigeração a 4°C	24h
Coliformes fecais	Vidro	Refrigeração a 4°C	...

Fonte: Chibantão, 2012

Em seguida foram feitas as leituras do pH e da temperatura.

#### 4.1.3 Processo de trituração das sementes de Moringa oleífera

Antes de dar início aos testes experimentais foi realizada a trituração das sementes de Moringa oleífera, previamente descascadas de forma manual e secas ao abrigo da luz. O processo de trituração consistiu em levar as sementes para um almofariz limpo onde se fez a trituração com um pistilo até a amostra apresentar um aspecto de pó fino como pode ser visto na figura 5.



Figura 5 : sementes trituradas de Moringa

De seguida as sementes foram peneiradas com ajuda de um peneiro (2mm), como mostra a figura 6.



Figura 6: processo de peneiração das sementes de Moringa

Posteriormente as sementes de Moringa foram armazenadas num recipiente plástico com tampa, para serem usadas mais tarde às amostras à serem analisadas, atentando-se para que não excedesse muito tempo para evitar a rancificação do material.

#### **4.2 Etapa de análises físico-químicas**

Esta etapa consistiu nas análises das amostras usando diferentes concentrações de sementes trituradas de Moringa.

Por falta de informações a respeito da concentração de Moringa que deve ser adicionada para este tipo de efluente, baseou-se em estudos já feitos com outros tipos de efluentes brutos colectados em corpos de água com aspectos macroscópicos semelhantes, os quais foram tratados com sementes de Moringa (Esnarriaga, 2010).

Às amostras colectadas foi feita a adição das sementes trituradas de Moringa em diferentes concentrações (4mg/L, 12mg/L e 16mg/L) que foram usadas para tratamento de efluente de esgoto (Esnarriaga, 2010).

Em seguida, cada solução foi homogeneizada com auxílio de uma vareta por três minutos até à sua total homogeneização e então foi deixada em repouso por aproximadamente 48 e 72 horas para logo serem realizadas as leituras dos parâmetros em análise. Esses parâmetros foram analisados e comparados entre as diferentes concentrações para então ser definida qual a concentração ideal a ser estudada e analisada.

#### **4.3 Análise das amostras de água**

O presente trabalho teve como um dos objectivos, a análise do EB em cumprimento do disposto no Decreto- Lei nº 207/94, de 6 de Agosto e Decreto-Lei nº 182/93, de 14 de Maio previstas pelo Regulamento Municipal de Descarga de Águas Residuais na Rede de Colectores da ZIL do Município de Condeixa-a-Nova e da Câmara Municipal De Santarém- Portugal ([www.cm-condeixa.pt/regulamentos/regulamentoZil.pdf](http://www.cm-condeixa.pt/regulamentos/regulamentoZil.pdf)). Este regulamento implica os seguintes parâmetros: pH, condutividade, temperatura, nitratos, nitritos, amoníaco, cloretos, BOD e coliformes fecais. Recorreu-se ao uso de normas portuguesas devido à ausência de normas moçambicanas para este tipo de EB.

A tabela 3 apresenta os parâmetros analisados, os métodos, equipamentos e /ou materiais usados no decurso do trabalho.

Tabela – 3: Parâmetros analisados e respectivos métodos e equipamentos e/ou materiais

Parâmetros	Métodos	Equipamento e utensílios
pH	Potenciométrico	pH metro WTW 730
Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	Condutimétrico	Condutímetro WTW LF 91
Turvação (NTU)	Nefelométrico	Turbidímetro HACH Model 2100A
Cor e Depósito	Visual	-
Nitratos ( $\text{mg/L NO}_3^-$ )	Espectrofotométrico	Espectrofotômetro biochrom Libra S22 e material corrente de laboratório
Nitritos ( $\text{mg/L NO}_2^-$ )	Espectrofotométrico	Espectrofotômetro biochrom Libra S22 e material corrente de laboratório
Amoníaco ( $\text{mg/L NH}_3^+$ )	Espectrofotométrico	Espectrofotômetro biochrom Libra S22 e material corrente de laboratório
Cloreto ( $\text{mg/L Cl}^-$ )	Mohr (titulação com $\text{AgNO}_3$ na presença de $\text{K}_2\text{CrO}_4$ )	Bureta graduada 50:1 (precisão: $\pm 0.05$ ml), pipeta de 1 ml e material corrente de laboratório.
Dureza total ( $\text{mg/L CaCO}_3$ )	Formação de complexos internos (titulação com EDTA)	Bureta graduada 2: 1 (precisão: $\pm 0.03$ ml). Pipeta de 1 ml e material corrente de laboratório
BOD ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ )	Manométrico	Manómetro, garrafas escuras
Coliformes fecais/ 100 ml	Tubos múltiplos	Tubos Duran, Estufa, Incubadora e material corrente de laboratório.

A tabela 4 apresenta a descrição das amostras estudadas.



Tabela- 4: Descrição das amostras estudadas

Nº	Descrição da amostra
1	Efluente bruto – tanque de armazenamento - CFM
2	Efluente bruto a ser tratado com sulfato de alumínio na concentração 4,0mg/L- Tanque de armazenamento- CFM
3	Efluente bruto a ser tratado com sulfato de alumínio na concentração de 12,0mg/L- Tanque de armazenamento - CFM
4	Efluente bruto a ser tratado com sulfato de alumínio na concentração de 16,0mg/L – Tanque de armazenamento - CFM
5	Efluente bruto a ser tratado com sementes trituradas de Moringa Oleífera na concentração de 4,0mg/L – Tanque de armazenamento – CFM
6	Efluente bruto a ser tratado com sementes trituradas de Moringa Oleífera na concentração de 12,0mg/L – Tanque de armazenamento – CFM
7	Efluente bruto a ser tratado com sementes trituradas de Moringa Oleífera na concentração de 16,0mg/L – Tanque de armazenamento – CFM

#### 4.4 Adição das sementes trituradas de Moringa oleífera e do sulfato de alumínio

Para as amostras 2, 3 e 4, foi adicionado sulfato de alumínio e para as amostras 5, 6 e 7 foram adicionadas sementes trituradas de Moringa oleífera, depois homogeneizadas com auxílio de uma vareta de vidro por cerca de 3 minutos para cada amostra. Logo de seguida, as amostras 2, 3 e 4 ficaram de repouso por 24 horas enquanto que as amostras 5 e 6 ficaram em repouso 72 horas e a amostra 7 ficou de repouso 48 horas que foi o tempo necessário para que se desse por completo o processo de clarificação e sedimentação das mesmas e logo de seguida foram feitas as análises.

#### 4.5 Análises imediatas

Entende-se por análises imediatas, aquelas que são realizadas logo que as amostras chegam ao laboratório ou que são realizadas de forma preliminar antes da realização de outras análises.

Elas forneceram os resultados dos primeiros parâmetros das amostras como, por exemplo, o pH, a condutividade dos iões dissolvidos na solução, a turvação, a temperatura, a demanda bioquímica de oxigénio, nitratos, nitritos, amoníaco, cloretos, dureza total e coliformes fecais. Entretanto, a

amostra 1, que representa efluente bruto, devido à cor intensa, foi submetida a um pré tratamento que consistiu em clarificar a água (figura 7) pela adição de sulfato de zinco a 0,5mg/L em meio alcalino (hidróxido de sódio) para posteriores análises. Esta amostra serviu como padrão para efluente bruto na comparação com as outras amostras submetidas a tratamento.



Figura 7: Pré tratamento do efluente bruto com sulfato de zinco em meio alcalino

#### **4.6 Determinação de Amoníaco, Nitratos e Nitritos**

Os teores de Amoníaco, Nitratos e Nitritos foram determinados com base nas curvas de calibração (Concentração – Absorvância), ilustradas nos anexos de figuras (A1-1 à A1-6) respectivamente, tanto para o efluente bruto como para água tratada.

##### **4.6.1 Determinação do Amoníaco**

A 50 ml da amostra a analisar adicionou-se 2 gotas de EDTA e 2 ml de reagente de Nessler (solução alcalina de iodo- mercurato de potássio). Deixou-se a solução em repouso durante 15 minutos depois fez-se a leitura da absorvância a 420 nm. Quando uma água que contém amoníaco é tratada com uma solução alcalina de iodo- mercurato de potássio forma-se um complexo corado mais ou menos intenso, relativamente à quantidade de amoníaco presente na água.

##### **4.6.2 Determinação de Nitratos**

Na determinação de nitratos foram feitas as leituras das absorvâncias da amostra no espectrofotómetro nos comprimentos de onda de 220 nm (solução não corada) e 275 nm (solução corada) e depois fez-se a diferença entre o valor da absorvância a 220 nm e 275 nm.

##### **4.6.3 Determinação de Nitritos**

A 50 ml da amostra a analisar adicionou-se 1 ml de  $\alpha$ -naftilamina e 1 ml de ácido sulfanílico, deixou-se a solução em repouso durante 15 minutos e fez-se a leitura da absorvância no

espectrofotómetro a 520 nm. A concentração de iões nitrito na água é determinada colorimetricamente graças à formação de um corante azoico rosado, produzido pela reacção entre o ácido sulfanílico, diazotado em ambiente ácido, e  $\alpha$  – naftilamina.

#### **4.7 Determinação de Cloretos e Dureza total**

##### **4.7.1 Determinação de Cloretos**

Mediu-se 100 ml da amostra e adicionou-se 1 ml do indicador e titulou-se com nitrato de prata. Numa solução neutra ou fracamente alcalina, o ião pode ser doseado através duma solução standard de nitrato de prata, utilizando cromato de potássio como indicador do ponto final de titulação; com este método (método de Mohr), o cloreto precipita quantitativamente como cloreto de prata de cor branca, antes da formação de cromato de prata cor de tijolo.

O teor de Cloretos nas amostras de água, foi determinado a partir da fórmula (1):

$$\text{Cl}^- \text{ (mg/L)} = \frac{(a- b). N. F_1. 1000}{V} \quad (1)$$

onde:

a- Volume do titulante gasto na titulação da amostra (ml);

b- Volume do titulante gasto na titulação do branco (ml);

V- Volume tomado da amostra analisada (ml);

F<sub>1</sub>- Padrão do titulante;

N- Normalidade do titulante.

##### **4.7.2 Determinação da Dureza da água**

Dá-se o nome de "água dura" às águas que levam dissolvidas grandes quantidades de sais de cálcio e de magnésio em forma de carbonatos e também em forma de gesso os quais podem ser determinadas por titulação complexométrica (método usado no laboratório).

Mediu-se 50 ml da amostra em estudo para um erlenmeyer de 250 ml e adicionou-se 1 ml de solução tampão e 5 gotas de indicador negro de eriocromot. De seguida titulou-se a solução com EDTA até à viragem da cor vermelha -vinosa a azul. A dureza total das amostras de água foi determinada a partir da fórmula (2):

$$\text{CaCO}_3 \text{ (mg/L)} = (V - b) \cdot F_2 \quad (2)$$

onde:

V- volume do EDTA gasto na titulação (ml);

F<sub>2</sub>- Padrão do titulante;

b-volume do titulante gasto na titulação do branco ( ml).

#### **4.8 Determinação de pH, condutividade, cor e depósito**

O pH e a Condutividade foram determinados pela leitura directa de seus valores nos respectivos aparelhos, precedida da devida calibração dos mesmos. Não foi necessário efectuar quaisquer cálculos.

##### **4.8.1 Determinação do pH e da temperatura**

A determinação baseia-se na calibração do sistema de eléctrodos (eléctrodo de vidro e eléctrodo de referência) com soluções tampões de pH conhecido.

A leitura do pH e da temperatura foram feitas através de um potenciómetro com termómetro, o qual faz a aferição respectivamente do pH e da temperatura.

##### **4.8.2 Determinação da condutividade**

A medida da condutividade tem por objectivo caracterizar uma determinada solução quanto à concentração de iões dissolvidos. A medição foi feita directamente utilizando o condutímetro. A cor e depósito foram determinados por observação directa.

##### **4.8.3 Determinação da turvação**

A turvação numa água é definida como a redução da transparência devida à presença de substâncias em suspensão. Quanto maior a quantidade de matéria orgânica e inorgânica dissolvida na amostra maior será a medida da turvação.

A amostra foi lida pelo turbidímetro, onde uma alíquota da solução a analisar foi colocada em um tubo transparente com tampa, e logo em seguida colocada no aparelho onde se efectuou a leitura da mesma. Os resultados são apresentados em NTU (Nephelometric Turbidity Units).

#### **4.9 Determinação de coliformes fecais e da demanda bioquímica de oxigénio**

Os coliformes fecais são expressos em NMP em 100 ml da amostra de água analisada, com auxílio da tabela que relaciona os tubos contendo amostra anteriormente inoculada e incubada nas devidas condições. Os tubos usados para a contagem, são os considerados positivos, isto é, onde ocorre formação de gás após a incubação.

##### **4.9.1 Determinação da demanda bioquímica de oxigénio**

A determinação da demanda bioquímica de oxigénio é um teste realizado em condições particulares, permite medir a quantidade de oxigénio que os microorganismos presentes na água, necessitam para oxidação bioquímica da matéria orgânica contida na amostra.

Para a determinação do BOD existem principalmente dois métodos; o método das diluições e o método manométrico. Foi escolhido o método manométrico devido às vantagens que apresenta em relação ao das diluições, que são:

- ▶ Fácil execução;
- ▶ Mantém a amostra nas condições naturais porque fica em contínua agitação.

O método baseia-se na leitura directa da demanda bioquímica de oxigénio da amostra através da diminuição de pressão medida pela aparelhagem manométrica depois de 5 dias, ao escuro, sob agitação e à temperatura de 20 ° C.

Durante o período de análise, as bactérias presentes gastam o oxigénio dissolvido para oxidar as substâncias orgânicas.

Interferem positivamente os nitritos, o ferro (II), os sulfuretos, os sulfitos e em geral todas as substâncias que são oxidadas quimicamente pelo oxigénio dissolvido; interferem negativamente o cloro livre e os metais tóxicos à flora bacteriana porque inibem o seu desenvolvimento. Valores de pH inferiores a 6,5 ou superiores a 8,3 interferem devido à acção inibidora. As amostras foram colocadas em garrafas escuras nas quais se introduziu o sistema de absorção do anidrido carbónico, colocou-se o aparelho no incubador a 20° C e ligou-se os agitadores magnéticos.

Deixou-se pelo menos 30-40 minutos para se obter o equilíbrio e depois ligou-se as garrafas ao manómetro. Durante o período em que decorreu a análise fez-se várias leituras do BOD. A leitura final foi feita exactamente depois de 5 dias. O resultado foi lido directamente na aparelhagem manométrica.

## Capítulo V. Apresentação e tratamento estatístico de resultados

As águas do tanque dos Caminhos de Ferro apresentam depósito e cor, elevados teores de BOD, condutividade e enorme quantidade de coliformes fecais. Os restantes parâmetros, nomeadamente, cloretos, nitratos, nitritos e amoníaco apresentam níveis aceitáveis. Apresentam ainda ótimos valores de pH, temperatura e nitritos. Não se pode dizer algo em relação à turvação e dureza por não se ter encontrado os limites de emissão desses parâmetros.

Analisando os parâmetros das tabelas (tabelas de 5 – 15), a concentração de 4g/L de sementes de Moringa foi a que teve melhores resultados, usou-se essa concentração de Moringa e comparou-se com a mesma concentração do sulfato de alumínio e também com os parâmetros do próprio efluente bruto pré tratado.

A figura 8 mostra a amostra bruta antes do tratamento com sementes de Moringa sulfato de alumínio.



Figura 8: Amostra de efluente bruto antes do tratamento

Após as 24 horas após o tratamento com sulfato de alumínio, as amostras apresentaram o seguintes aspecto, segundo pode ser visto na figura 9.



Figura 9: Amostra de efluente bruto após o tratamento com sulfato de alumínio

Após 72 horas (amostras 2 e 3 da direita para esquerda) e 48 horas (amostra 1 da esquerda da direita) depois do tratamento com sementes de Moringa, as amostras apresentaram o seguinte aspecto, segundo pode ser visto na figura 10.



Figura 10: Amostras de efluente bruto após o tratamento com sementes de Moringa

A tabela 5 mostra os primeiros resultados da análise do efluente bruto pré tratado (EBPT).

Tabela 5: Características físico-químicas do EBPT.

Parâmetros	Resultados
pH	6.72
Temperatura (°C)	20.5
Demanda bioquímica de oxigênio (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	62
Condutividade (µS. Cm <sup>-1</sup> )	74000
Turvação (N.T.U)	1.6
Cor	Corada
Depósito	Presente
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	31.20
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	90
Coliformes fecais (NMP/100 ml)	>100
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	33.54
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.01
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	1.35

A tabela 6 mostra os resultados da análise da água tratada com sulfato de alumínio e sementes de Moringa (concentração de 4mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Setembro.

Tabela 6: Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 4mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Setembro.

Parâmetros	EBPT			Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>			Sementes Moringa		
pH	6.72	6.73	6.74	4.47	4.47	4.48	6.39	6.41	6.45
Temperatura (°C)	20.50	20.50	20.40	20.00	20.10	20.10	20.00	20.20	20.20
B.O.D (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	62.00			2.00			80.00		
Condutividade (µS/cm)	74000.00	76000.00	76000.00	2.32	2.34	2.34	1223.00	1224.00	1228.00
Turvação (NTU)	1.60	1.70	1.80	0.50	0.60	0.60	8.70	8.80	8.80
Cor	Corada			Incolor			Incolor		
Depósito	Presente			Ausente			Ausente		
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	31.20	31.34	32.10	38.04	38.06	38.10	9.63	9.83	9.99
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	90.00	92.00	94.00	19.32	19.33	19.33	102.20	102.52	103.50
Coliformes fecais	>100			<1			> 100		
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	33.54	33.73	34.00	18.15	18.15	18.18	196.59	196.54	197.01
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.01	0.01	0.10	0.04	0.05	0.05	0.12	0.13	0.13
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	1.35	1.36	1.36	2.29	2.36	2.36	9.42	9.48	9.48



Estudo comparativo do uso de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio no tratamento de águas do tanque de armazenamento dos CFM

A tabela 7 mostra os resultados da análise da água tratada com sulfato de alumínio e sementes de Moringa (concentração de 4mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Outubro.

Tabela 7: Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 4mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Outubro.

Parâmetros	EBPT			Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>			Sementes Moringa		
	pH	6.75	6.77	6.77	4.50	4.50	4.51	6.39	6.40
Temperatura (°C)	20.70	20.70	20.50	20.00	20.30	20.30	20.00	20.10	20.10
B.O.D (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	64.00			4.00			80.00		
Condutividade (µS/cm)	76000.00	77000.00	77000.00	2.35	2.35	2.36	1224.00	1225.00	1225.00
Turvação (NTU)	1.80	1.80	1.90	0.50	0.80	0.80	8.80	8.90	8.90
Cor	Corada			Incolor			Incolor		
Depósito	Presente			Ausente			Ausente		
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	33.12	32.46	32.82	38.12	38.14	38.18	9.63	9.76	9.79
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	91.00	94.00	94.00	19.67	19.67	19.68	102.32	102.68	103.02
Coliformes fecais	>100			<1			>100		
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	34.20	35.00	35.13	19.10	19.14	19.16	196.60	196.80	196.86
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.01	0.08	0.10	0.04	0.05	0.06	0.13	0.13	0.14
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	1.62	2.02	2.10	2.42	2.45	2.48	9.42	9.45	9.47

A tabela 8 mostra os resultados da análise da água tratada com sulfato de alumínio e sementes de Moringa (concentração de 4mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Dezembro.

Tabela 8: Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 4mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Dezembro.

Parâmetros	EBPT			Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>			Sementes Moringa		
	pH	6.78	6.78	6.80	4.52	4.54	4.54	6.40	6.41
Temperatura (°C)	20.90	20.90	20.80	20.00	20.20	20.20	20.00	20.30	20.30
B.O.D (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	68.00			4.00			84.00		
Condutividade (µS/cm)	78000.00	79000.00	79000.00	2.37	2.37	2.38	1228.00	1230.00	1230.00
Turvação (NTU)	2.00	2.20	2.20	0.60	0.60	0.90	8.20	8.40	8.40
Cor	Corada			Incolor			Incolor		
Depósito	Presente			Ausente			Ausente		
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	33.00	33.46	34.02	38.16	38.18	38.19	9.10	10.00	10.00
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	96.00	98.00	98.00	19.70	20.01	20.15	103.45	103.52	103.54
Coliformes fecais	>100			<1			>100		

Estudo comparativo do uso de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio no tratamento de águas do tanque de armazenamento dos CFM

Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	35.22	35.89	36.04	19.36	19.37	20.01	197.30	197.47	197.63
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.08	0.24	0.90	0.08	0.09	0.09	0.13	0.14	0.14
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	2.00	2.88	2.91	2.46	2.50	2.52	9.74	9.79	9.89

A tabela 9 mostra os resultados da análise da água tratada com sulfato de alumínio e sementes de Moringa (concentração de 12mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Setembro.

Tabela 9: Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 12mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Setembro.

Parâmetros	EBPT			Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>			Sementes Moringa		
pH	6.72	6.73	6.74	4.18	4.18	4.19	5.33	5.34	5.34
Temperatura (°C)	20.50	20.50	20.40	20.00	20.10	20.10	20.00	20.20	20.20
B.O.D (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	62.00			20.00			49.00		
Condutividade (µS/cm)	74000.00	76000.00	76000.00	3.67	3.68	3.69	1742.00	1743.00	1745.00
Turvação (NTU)	1.60	1.70	1.80	0.60	0.60	0.70	8.60	8.70	8.70
Cor	Corada			Incolor			Incolor		
Depósito	Ausente			Ausente			Ausente		
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	31.20	31.34	32.10	38.25	38.29	38.32	24.76	26.77	27.00
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	90.00	92.00	94.00	0.77	0.77	0.78	521.64	522.62	524.66
Coliformes fecais	>100			<1			>100		
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	33.54	33.73	34.00	22.96	23.20	23.36	772.18	772.19	773.19
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.01	0.01	0.10	0.12	0.14	0.16	1.72	1.74	1.77
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	1.35	1.36	1.36	7.01	7.03	8.03	15.95	15.95	15.96

A tabela 10 mostra os resultados da análise da água tratada com sulfato de alumínio e sementes de Moringa (concentração de 12mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Outubro.

Tabela 10: Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 12mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Outubro.

Parâmetros	EBPT			Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>			Sementes Moringa		
pH	6.75	6.77	6.77	4.20	4.22	4.22	5.34	5.36	5.36
Temperatura (°C)	20.70	20.70	20.50	20.00	20.10	20.10	20.00	20.10	20.10
B.O.D (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	64.00			22.00			49.00		
Condutividade (µS/cm)	76000.00	77000.00	77000.00	3.96	4.21	4.23	1743.00	1744.00	1744.00
Turvação (NTU)	1.80	1.80	1.90	0.80	0.90	0.90	8.80	8.80	8.90
Cor	Corada			Incolor			Incolor		
Depósito	Presente			Ausente			Ausente		
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	33.12	32.46	32.82	38.30	38.31	38.34	24.78	24.88	25.80

Estudo comparativo do uso de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio no tratamento de águas do tanque de armazenamento dos CFM

Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	91.00	94.00	94.00	0.92	0.93	0.93	522.63	522.70	523.40
Coliformes fecais	>100			<1			>100		
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	34.20	35.00	35.13	24.22	24.24	26.32	773.21	773.53	774.90
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.01	0.08	0.10	0.18	0.19	0.20	1.90	1.94	1.97
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	1.62	2.02	2.10	7.29	7.35	7.47	16.02	16.35	16.54

A tabela 11 mostra os resultados da análise da água tratada com sulfato de alumínio e sementes de Moringa (concentração de 12mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Dezembro.

Tabela 11: Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 12mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Dezembro.

Parâmetros	EBPT			Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>			Sementes Moringa		
pH	6.78	6.78	6.80	4.40	4.41	4.43	5.38	5.38	5.39
Temperatura (°C)	20.90	20.90	20.80	20.00	20.10	20.10	20.00	20.20	20.20
B.O.D (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	68.00			24.00			50.00		
Condutividade (µS/cm)	78000.00	79000.00	79000.00	4.22	4.24	4.26	1746.00	1748.00	1748.00
Turvação (NTU)	2.00	2.20	2.20	1.00	1.20	1.20	8.90	1.00	1.00
Cor	Corada			Incolor			Incolor		
Depósito	Presente			Ausente			Ausente		
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	33.00	33.46	34.02	38.36	38.38	38.40	24.98	24.99	25.02
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	96.00	98.00	98.00	0.93	0.94	0.94	523.66	523.86	524.92
Coliformes fecais	>100			<1			>100		
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	35.22	35.89	36.04	24.48	24.71	25.75	773.20	774.15	774.28
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.08	0.24	0.90	0.20	0.20	0.22	2.01	2.13	2.43
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	2.0	2.88	2.91	7.12	7.22	7.26	16.94	17.20	17.80

A tabela 12 mostra os resultados da análise da água tratada com sulfato de alumínio e sementes de Moringa (concentração de 16mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Setembro.

Tabela 12: Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 16mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Setembro.

Parâmetros	EBPT			Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>			Sementes Moringa		
pH	6.72	6.73	6.74	4.11	4.12	4.12	5.84	5.88	5.88
Temperatura (°C)	20.50	20.50	20.40	20.00	20.20	20.20	20.00	20.20	20.20
B.O.D (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	62.00			20.00			50.00		
Condutividade (µS/cm)	74000.00	7600.00	76000.00	20.80	20.80	20.10	1847.00	1847.00	1848.00
Turvação (NTU)	1.60	1.70	1.80	90.00	90.00	92.00	325.00	325.00	327.00
Cor	Corada			Incolor			Corada		

Estudo comparativo do uso de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio no tratamento de águas do tanque de armazenamento dos CFM

Depósito	Presente			Ausente			Ausente		
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	31.20	31.34	32.10	38.40	38.44	38.47	0.13	0.14	0.15
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	90.00	92.00	94.00	1.16	1.18	1.38	3.86	3.87	3.92
Coliformes fecais	>100			<1			>100		
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	33.54	33.73	34.00	11.69	12.31	13.05	602.20	603.67	603.70
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.01	0.01	0.10	1.81	2.15	2.30	3.77	3.77	3.86
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	1.35	1.36	1.36	6.95	6.97	7.11	14.57	14.57	14.67

A tabela 13 mostra os resultados da análise da água tratada com sulfato de alumínio e sementes de Moringa (concentração de 16mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Outubro.

Tabela 13: Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 16mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Outubro.

Parâmetros	EBPT			Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>			Sementes Moringa		
	pH	6.75	6.77	6.77	4.13	4.14	4.14	5.85	5.86
Temperatura (°C)	20.70	20.70	20.50	20.00	20.30	20.30	20.00	20.30	20.30
B.O.D (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	64.00			26.00			56.00		
Condutividade (µS/cm)	76000.00	77000.00	77000.00	20.12	20.16	20.16	1849.00	1850.00	1850.00
Turvação (NTU)	1.80	1.80	1.90	90.00	92.00	92.00	328.00	330.00	330.00
Cor	Corada			Incolor			Corada		
Depósito	Presente			Ausente			Ausente		
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	33.12	32.46	32.82	38.52	38.54	38.58	0.14	0.14	0.16
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	91.00	94.00	94.00	1.24	1.42	2.21	4.22	4.23	4.53
Coliformes fecais	>100			<1			>100		
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	34.20	35.00	35.13	12.43	12.58	13.11	604.67	604.82	604.97
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.01	0.08	0.10	2.06	2.14	2.67	3.98	4.20	4.62
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	1.62	2.02	2.10	7.33	7.73	7.90	14.98	15.30	15.61

A tabela 14 mostra os resultados da análise da água tratada com sulfato de alumínio e sementes de Moringa (concentração de 16mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Dezembro.

Tabela 14: Características físico-químicas da água tratada com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa (concentração 16mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Dezembro.

Parâmetros	EBPT			Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>			Sementes Moringa		
	pH	6.78	6.78	6.80	4.15	4.15	4.16	5.87	5.88
Temperatura (°C)	20.9	20.9	20.8	20	20.4	20.4	20	20.4	20.4
B.O.D (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	68			26			58		
Condutividade (µS/cm)	78000	79000	79000	20.18	20.20	20.26	1860	1864	1864
Turvação (NTU)	2.0	2.2	2.2	92	92	94	330	332	332
Cor	Corada			Incolor			Corada		
Depósito	Presente			Ausente			Ausente		

Estudo comparativo do uso de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio no tratamento de águas do tanque de armazenamento dos CFM

Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	33.00	33.46	34.02	38.56	38.60	38.61	0.14	0.15	0.15
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	96	98	98	1.83	2.12	2.40	4.98	5.11	5.21
Coliformes fecais	>100			<1			>100		
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	35.22	35.89	36.04	13.20	14.30	14.51	605.00	605.21	606.10
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.08	0.24	0.90	2.38	2.74	2.95	5.10	5.36	5.42
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	2.00	2.88	2.91	7.51	8.00	8.04	16.24	16.38	16.41

### 5.1 Tratamento estatístico dos resultados

O tratamento estatístico dos resultados obtidos considerou as diferentes concentrações para cada amostra (com réplica) da água analisada a cada colheita. A zona dentro da qual se pensa que o valor verdadeiro vai cair IC (“intervalo de confiança”), define-se pela fórmula (3), (Kin, 1996).

$$IC = X \pm ts / \sqrt{n} \quad (3)$$

onde:

X – média amostral,

t – é um valor retirado das tabelas de t para um determinado intervalo de confiança e n – 1 graus de liberdade.

Nas tabelas (15 -35) que se seguem são indicadas as médias, desvio- padrão, %RSD (desvio padrão relativo) e IC (intervalos de confiança com o grau de certeza de 95% e n = 2,  $t_{\alpha} = 4.30$ )

calculados para cada determinação química e físico- química usando-se os pacotes estatísticos SGWIN\_2.0. e EXCEL.

Tabela 15: Amostra de efluente bruto (mês de Setembro)

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	6.72	6.73	6.74	6.73	0.01	0.15	6.73±0.03
Condutividade (µS/cm)	74000.00	76000.00	76000.00	75333.33	1152.60	1.53	75333.33±3504.55
Turvação (NTU)	1.60	1.70	1.80	1.70	0.10	5.88	1.70±0.03
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	31.20	31.34	32.10	31.55	0.48	1.52	31.55±1.46
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	90.00	92.00	94.00	92.00	0.94	2.17	92.00±2.86
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	33.54	33.73	34.00	33.76	0.23	0.68	33.76±0.70
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.01	0.01	0.10	0.04	0.05	125.00	0.04±0.15
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	1.35	1.36	1.36	1.36	0.01	0.74	1.36±0.03

Tabela 16: Amostra de efluente bruto (mês de Outubro)

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	6.75	6.77	6.77	6.76	0.01	0.15	6.76±0.03
Condutividade (µS/cm)	76000.00	77000.00	77000.00	76666.70	577.35	0.75	76666.70±1755.47
Turvação (NTU)	1.80	1.80	1.90	1.83	0.06	3.28	1.83±0.18
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	33.12	32.46	32.82	32.80	0.33	1.01	32.80±1.00
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	91.00	94.00	94.00	93.00	1.73	1.86	93.00±5.26
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	34.20	35.00	35.13	34.78	0.50	1.44	34.78±1.52
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.01	0.08	0.10	0.06	0.05	83.33	0.06±0.15
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	1.62	2.02	2.10	1.91	0.26	13.61	1.91±0.79

Tabela 17: Amostra de efluente bruto (mês de Dezembro)

Parâmetros	Réplicas			- X	s	%RSD	IC
pH	6.78	6.78	6.80	6.79	0.01	0.15	6.79±0.03
Condutividade (µS/cm)	78000.00	79000.00	79000.00	78666.70	577.35	0.73	78666.70±1755.47
Turvação (NTU)	2.00	2.20	2.20	2.13	0.12	5.63	2.13±0.36
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	33.00	33.46	34.02	33.49	0.51	1.52	33.49±1.55
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	96.00	98.00	98.00	97.33	1.15	1.18	97.33±3.50
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	35.22	35.89	36.04	35.72	0.44	1.23	35.72±1.34
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.08	0.24	0.90	0.41	0.43	104.88	0.41±1.31
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	2.00	2.88	2.91	2.60	0.52	20.00	2.60±1.58

Tabela 18: Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 4mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Setembro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	4.47	4.47	4.48	3.95	0.90	22.78	3.95±1.41
Condutividade (µS/cm)	2.32	2.34	2.34	2.33	0.01	0.43	2.33±0.03
Turvação (NTU)	0.50	0.60	0.60	0.57	0.06	10.53	0.57±0.18
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	38.04	38.06	38.10	38.07	0.21	0.44	38.07±0.64
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	19.32	19.33	19.33	19.33	0.01	0.05	19.33±0.03
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	18.15	18.15	18.18	18.16	0.02	0.11	18.16±0.06
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.04	0.05	0.05	0.05	0.01	20.00	0.05±0.03
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	2.29	2.36	2.36	2.34	0.04	1.71	2.34±0.12

Tabela 19: Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 4mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Outubro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	4.50	4.50	4.51	4.50	0.01	0.22	4.50±0.03
Condutividade (µS/cm)	2.35	2.35	2.36	2.35	0.01	0.43	2.35±0.03
Turvação (NTU)	0.50	0.80	0.80	0.70	0.17	24.29	0.70±0.52
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	38.12	38.14	38.18	38.15	0.16	0.33	38.15±0.49
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	19.67	19.67	19.68	19.67	0.01	0.05	19.67±0.03
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	19.10	19.14	19.16	19.13	0.03	0.16	19.13±0.09
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.04	0.05	0.06	0.05	0.01	20.00	0.05±0.03
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	2.42	2.45	2.48	2.45	0.03	12.24	2.45±0.09

Estudo comparativo do uso de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio no tratamento de águas do tanque de armazenamento dos CFM

Tabela 20: Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 4mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Dezembro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	4.52	4.54	4.54	4.53	0.01	0.22	4.53±0.03
Condutividade (µS/cm)	2.37	2.37	2.38	2.37	0.01	0.42	2.37±0.03
Turvação (NTU)	0.60	0.60	0.90	0.70	0.17	24.29	0.70±0.52
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	38.16	38.18	38.19	38.18	0.03	0.06	38.18±0.09
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	19.70	20.01	20.15	19.95	0.23	1.15	19.95±0.70
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	19.36	19.37	20.01	19.58	0.37	1.89	19.58±1.13
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.08	0.09	0.09	0.09	0.01	11.11	0.09±0.03
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	2.46	2.50	2.52	2.49	0.03	1.20	2.49±0.09

Tabela 21: Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 12mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Setembro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	4.18	4.18	4.19	4.18	0.01	0.24	4.18±0.03
Condutividade (µS/cm)	3.67	3.68	3.69	3.68	0.01	0.27	3.68±0.03
Turvação (NTU)	0.60	0.60	0.70	0.63	0.01	1.59	0.63±0.03
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	38.25	38.29	38.32	38.29	0.65	1.67	38.29±1.98
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	0.77	0.77	0.78	0.77	0.01	1.30	0.77±0.03
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	22.96	23.20	23.36	23.17	0.20	0.86	23.17±0.61
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.12	0.14	0.16	0.14	0.02	14.29	0.14±0.06
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	7.01	7.03	8.03	7.36	0.58	7.88	7.36±1.76

Tabela 22: Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 12mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Outubro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	4.20	4.22	4.22	4.21	0.01	0.24	4.21±0.03
Condutividade (µS/cm)	3.96	4.21	4.23	4.13	0.15	3.63	4.13±0.46
Turvação (NTU)	0.80	0.90	0.90	0.87	0.06	6.90	0.87±0.18
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	38.30	38.31	38.34	38.32	0.24	0.60	38.32±0.73
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	0.92	0.93	0.93	0.93	0.01	1.08	0.93±0.03
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	24.22	24.24	26.32	24.93	1.21	4.85	24.93±3.68
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.18	0.19	0.20	0.19	0.01	5.26	0.19±0.03
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	7.29	7.35	7.47	7.37	0.09	1.22	7.37±0.27

Tabela 23: Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 12mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Dezembro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	4.40	4.41	4.43	4.41	0.02	0.45	4.41±0.06
Condutividade (µS/cm)	4.22	4.24	4.26	4.24	0.02	0.47	4.24±0.06
Turvação (NTU)	1.00	1.20	1.20	1.13	0.12	10.62	1.13±0.36
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	38.36	38.38	38.40	38.38	0.06	0.15	38.38±0.18
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	0.93	0.94	0.94	0.94	0.06	6.38	0.94±0.18
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	24.48	24.71	25.75	24.98	0.68	2.72	24.98±2.07
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.20	0.20	0.22	0.21	0.01	4.76	0.21±0.03
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	7.12	7.22	7.26	7.20	0.07	0.97	7.20±0.21

Estudo comparativo do uso de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio no tratamento de águas do tanque de armazenamento dos CFM

Tabela 24: Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 16mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Setembro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	4.11	4.12	4.12	4.12	0.01	0.24	4.12±0.03
Condutividade (µS/cm)	20.80	20.80	20.10	20.57	0.40	1.94	20.57±1.22
Turvação (NTU)	90.00	90.00	92.00	90.67	1.15	1.27	90.67±3.50
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	38.40	38.44	38.47	38.44	0.70	0.89	38.44±2.13
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	1.16	1.18	1.38	1.24	0.12	9.68	1.24±0.36
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	11.69	12.31	13.05	12.35	0.68	5.51	12.35±2.07
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	1.81	2.15	2.30	2.09	0.25	11.96	2.09±0.76
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	6.95	6.97	7.11	7.01	0.09	1.28	7.01±0.27

Tabela 25: Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 16mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Outubro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	4.13	4.14	4.14	4.14	0.06	1.45	4.14±0.18
Condutividade (µS/cm)	20.12	20.16	20.16	20.15	0.02	0.01	20.15±0.06
Turvação (NTU)	90.00	92.00	92.00	91.33	1.15	1.26	91.33±3.50
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	38.52	38.54	38.58	38.55	0.39	0.50	38.55±1.19
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	1.24	1.42	2.21	1.62	0.52	32.10	1.62±1.58
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	12.43	12.58	13.11	12.71	0.36	2.83	12.71±1.09
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	2.06	2.14	2.67	2.29	0.33	14.41	2.29±1.00
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	7.33	7.73	7.90	7.65	0.29	3.79	7.65±0.88

Tabela 26: Amostra tratada com sulfato de alumínio (concentração 16mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Dezembro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	4.15	4.15	4.16	4.15	0.01	0.24	4.15±0.03
Condutividade (µS/cm)	20.18	20.20	20.26	20.21	0.04	0.20	20.21±0.12
Turvação (NTU)	92.00	92.00	94.00	92.67	1.15	1.24	92.67±3.50
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	38.56	38.60	38.61	38.59	0.90	1.13	38.59±2.74
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	1.83	2.12	2.40	2.12	0.29	12.26	2.12±0.88
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	13.20	14.30	14.51	14.00	0.70	5.00	14.00±2.13
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	2.38	2.74	2.95	2.69	0.29	10.78	2.69±0.88
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	7.51	8.00	8.04	7.85	0.30	3.82	7.85±0.91

Tabela 27: Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 4mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Setembro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	6.39	6.41	6.45	6.42	0.03	0.47	6.42±0.09
Condutividade (µS/cm)	1223.00	1224.00	1228.00	1225.00	2.65	0.22	1225.00±8.06
Turvação (NTU)	8.70	8.80	8.80	8.77	0.06	0.68	8.77±0.18
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	9.63	9.83	9.99	9.82	0.18	1.83	9.82±0.55
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	102.20	102.52	103.50	102.74	0.68	0.66	102.74±2.07
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	196.59	196.54	197.01	196.71	0.26	0.13	196.71±0.79
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.12	0.13	0.13	0.13	0.01	7.69	0.13±0.03
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	9.42	9.48	9.48	9.46	0.03	0.32	9.46±0.09



Tabela 28: Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 4mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Outubro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	6.39	6.40	6.42	6.40	0.02	0.31	6.40±0.06
Condutividade (µS/cm)	1224.00	1225.00	1225.00	1224.67	0.58	0.05	1224.67±1.76
Turvação (NTU)	8.80	8.90	8.90	8.87	0.06	0.68	8.87±0.18
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	9.63	9.76	9.79	9.73	0.09	0.96	9.73±0.27
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	102.32	102.68	103.02	102.67	0.35	0.34	102.67±1.06
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	196.60	196.80	196.86	196.75	0.14	0.07	196.75±0.43
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.13	0.13	0.14	0.13	0.01	7.69	0.13±0.03
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	9.42	9.45	9.47	9.45	0.03	0.32	9.45±0.09

Tabela 29: Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 4mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Dezembro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	6.40	6.41	6.44	6.42	0.02	0.31	6.42±0.06
Condutividade (µS/cm)	1228.00	1230.00	1230.00	1229.33	1.15	0.09	1229.33±3.50
Turvação (NTU)	8.20	8.40	8.40	8.33	0.12	1.44	8.33±0.36
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	9.10	10.00	10.00	9.70	0.52	5.36	9.70±1.58
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	103.45	103.52	103.54	103.50	0.05	0.05	103.50±0.15
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	197.30	197.47	197.63	197.46	0.17	0.09	197.46±0.52
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.13	0.14	0.14	0.14	0.01	7.14	0.14±0.03
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	9.74	9.79	9.89	9.81	0.08	0.82	9.81±0.24

Tabela 30: Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 12mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Setembro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	5.33	5.34	5.34	5.34	0.01	0.19	5.34±0.03
Condutividade (µS/cm)	1742.00	1743.00	1745.00	1743.33	1.53	0.09	1743.33±4.65
Turvação (NTU)	8.60	8.70	8.70	8.67	0.06	0.69	8.67±0.18
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	24.76	26.77	27.00	26.18	1.23	4.70	26.18±3.74
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	521.64	522.62	524.66	522.97	1.54	0.29	522.97±4.68
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	772.18	772.19	773.19	772.52	0.58	0.08	772.52±1.76
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	1.72	1.74	1.77	1.74	0.03	1.72	1.74±0.09
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	15.95	15.95	15.96	15.95	0.01	0.06	15.95±0.03

Tabela 31: Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 12mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Outubro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	5.34	5.36	5.36	5.35	0.01	0.19	5.35±0.03
Condutividade (µS/cm)	1743.00	1744.00	1744.00	1743.67	0.52	0.03	1743.67±1.58
Turvação (NTU)	8.80	8.80	8.90	8.83	0.06	0.68	8.83±0.18
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	24.78	24.88	25.80	25.15	0.56	2.23	25.15±1.70
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	522.63	522.70	523.40	522.91	0.43	0.08	522.91±1.31
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	773.21	773.53	774.90	773.88	0.90	0.12	773.88±2.74
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	1.90	1.94	1.97	1.94	0.04	2.06	1.94±0.12
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	16.02	16.35	16.54	16.30	0.26	1.60	16.30±0.79

Tabela 32: Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 12mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Dezembro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	5.38	5.38	5.39	5.38	0.01	0.19	5.38±0.03
Condutividade (µS/cm)	1746.00	1748.00	1748.00	1747.33	1.15	0.07	1747.33±3.50
Turvação (NTU)	8.90	1.00	1.00	3.63	4.56	125.62	3.63±13.86
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	24.98	24.99	25.02	24.10	0.02	0.08	24.10±0.06
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	523.66	523.86	524.92	524.15	0.68	0.13	524.15±2.07
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	773.20	774.15	774.28	773.88	0.59	0.08	773.88±1.79
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	2.01	2.13	2.43	2.19	0.22	10.05	2.19±0.67
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	16.94	17.20	17.80	17.31	0.44	2.54	17.31±1.34

Tabela 33: Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 16mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Setembro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	5.84	5.88	5.88	5.87	0.02	0.34	5.87±0.06
Condutividade (µS/cm)	1847.00	1847.00	1848.00	1847.33	0.58	0.03	1847.33±1.76
Turvação (NTU)	325.00	325.00	327.00	325.67	1.15	0.35	325.67±3.50
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.13	0.14	0.15	0.14	0.01	7.14	0.14±0.03
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	3.86	3.87	3.92	3.88	0.03	0.77	3.88±0.09
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	602.20	603.67	603.70	603.19	0.86	0.14	603.19±2.61
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	3.77	3.77	3.86	3.80	0.05	1.32	3.80±0.15
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	14.57	14.57	14.67	14.60	0.06	0.41	14.60±0.18

Tabela 34: Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 16mg.L<sup>-1</sup>) no mês de Outubro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	5.85	5.86	5.88	5.86	0.02	0.34	5.86±0.06
Condutividade (µS/cm)	1849.00	1850.00	1850.00	1849.67	0.58	0.03	1849.67±1.76
Turvação (NTU)	328.00	330.00	330.00	329.33	1.15	0.35	329.33±3.50

Estudo comparativo do uso de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio no tratamento de águas do tanque de armazenamento dos CFM

Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.14	0.14	0.16	0.15	0.01	6.67	0.15±0.03
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	4.22	4.23	4.53	4.33	0.18	4.16	4.33±0.55
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	604.67	604.82	604.97	604.82	0.15	0.02	604.82±0.46
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	3.98	4.20	4.62	4.27	0.33	7.73	4.27±1.00
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	14.98	15.30	15.61	15.30	0.32	2.09	15.30±0.97

Tabela 35: Amostra tratada com sementes trituradas de Moringa (concentração 16mg.L<sup>-1</sup>) no mês de de Dezembro.

Parâmetros	Réplicas			- x	s	%RSD	IC
pH	5.87	5.88	5.88	5.88	0.01	0.17	5.88±0.03
Condutividade (µS/cm)	1860.00	1864.00	1864.00	1862.67	2.31	0.12	1862.67±7.02
Turvação (NTU)	330.00	332.00	332.00	331.33	1.15	0.35	331.33±3.50
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	0.14	0.15	0.15	0.15	0.01	6.67	0.15±0.03
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	4.98	5.11	5.21	5.10	0.12	2.35	5.10±0.36
Nitratos (mg.L <sup>-1</sup> )	605.00	605.21	606.10	605.44	0.58	0.01	605.44±1.76
Nitritos (mg.L <sup>-1</sup> )	5.10	5.36	5.42	5.29	0.17	3.21	5.29±0.52
Amoníaco (mg.L <sup>-1</sup> )	16.24	16.38	16.41	16.34	0.09	0.55	16.34±0.27

Para efeitos de comparação dos resultados entre os dois coagulantes, serviu a **técnica de variância (ANOVA)**. Segundo KIN (1996), esta é uma técnica geral e potente que, num conjunto de dados experimentais, separa as contribuições para a variação total e testa a sua significância. Havendo um único factor a controlar, neste caso concreto a variação dos valores dos parâmetros analisados, devida ao processo de tratamento da água, aplicou-se ANOVA UNIMODAL. As fórmulas simplificadas, que são usadas para os cálculos estão sumarizadas na tabela 36:

Tabela 36 – Tabela ANOVA para  $m$  grupos de  $n$  observações

Fonte de variação	SS	v	MS
Entre grupos	$SS_A = \sum_i T_i^2/n - T^2/N$	$v_A = m - 1$	$MS_A = SS_A/v_A$
Dentro dos grupos	$SS_B = SS_T - SS_A$	$v_B = (N - 1) - (m - 1)$	$MS_B = SS_B/v_B$
Total	$SS_T = \sum_i \sum_j x_{ij}^2 - T^2/N$	$v_C = N - 1$	$MS_C = SS_C/v_C$

$$F_{\text{calculado}} = MS_A/MS_B$$

onde:

SS – soma de quadrados

v – Graus de liberdade

MS – quadrado médio

$T_i$  – soma das medições no grupo  $i$

$T$  – soma de todas medições, grande total

$N = nm$  ( $n$  observações ou medições e  $m$  grupos): número total de medições

### Hipóteses

Hipótese nula ( $H_0$ ): não há diferença significativa entre os resultados obtidos entre os meses.

Hipótese alternativa ( $H_A$ ): há diferença significativa entre os resultados obtidos entre os meses.

Se  $F_{cal} < F_{crit}$ , aceita-se a  $H_0$

Se  $F_{cal} > F_{crit}$ , rejeita-se a  $H_0$

onde:

$F_{crit}$  – F crítico (valor tabelado).

As tabelas (37- 39) apresentam os valores de F calculados para os parâmetros analisados referentes às concentrações de  $4\text{mg.L}^{-1}$  –  $16\text{mg.L}^{-1}$ .

Tabela 37 – Valores de F calculados para os parâmetros analisados (concentração  $4\text{mg.L}^{-1}$ )

Parâmetros analisados	$F_{cal}$	Juízo
Cloretos	0.00	$F_{cal} < F_{crit}$ , aceita-se a $H_0$ . Pode-se afirmar com 95% de confiança que não há diferença significativa entre os resultados obtidos entre os meses.
Dureza	0.00	
Nitratos	0.00	
Nitritos	2.00	
Amoníaco	0.00	
Condutividade	0.00	
Turvação	0.00	
pH	1.63	

$$F_{(2,6; P=0.05; 1T)} = 5.14 \text{ para } m = 3 \text{ e } n = 3.$$

Tabela 38 – Valores de F calculados para os parâmetros analisados (concentração  $12\text{mg.L}^{-1}$ )

Parâmetros analisados	$F_{cal}$	Juízo
Cloretos	0.01	$F_{cal} < F_{crit}$ , aceita-se a $H_0$ . Pode-se afirmar com 95% de confiança que não há diferença significativa entre os resultados obtidos entre os meses.
Dureza	0.00	
Nitratos	0.00	
Nitritos	0.74	
Amoníaco	0.30	
Turvação	0.19	
Condutividade	0.00	
pH	0.01	

$$F_{(2,6; P=0.05; 1T)} = 5.14 \text{ para } m = 3 \text{ e } n = 3.$$

Tabela 39 – Valores de F calculados para os parâmetros analisados (concentração 16mg.L<sup>-1</sup>)

Parâmetros analisados	F <sub>cal</sub>	Juízo
Cloretos	0.00	F <sub>cal</sub> < F <sub>crit</sub> , aceita-se a H <sub>0</sub> . Pode-se afirmar com 95% de confiança que não há diferença significativa entre os resultados obtidos entre os meses.
Dureza	0.00	
Nitratos	0.00	
Nitritos	2.51	
Amoníaco	0.03	
Turvação	0.00	
Condutividade	0.46	
pH	0.01	

$$F_{(2,6; P=0.05; 1T)} = 5.14 \text{ para } m = 3 \text{ e } n = 3.$$

Comparou-se a eficiência entre os dois coagulantes para ver se há ou não diferença significativa entre os resultados obtidos com o tratamento usando os dois coagulantes aplicando-se o teste teste-t emparelhado.

O valor de t é calculado a partir da fórmula (4):

$$t_{\text{cal}} = X_d \sqrt{n/s_d} \quad (4)$$

onde:

X<sub>d</sub> – média da diferença entre os coagulantes

S<sub>d</sub> – desvio da diferença entre os coagulantes

n – número de réplicas

t<sub>cal</sub> – t calculado

### Hipóteses

Hipótese nula (H<sub>0</sub>): não há diferença significativa entre os valores obtidos entre os dois coagulantes.

Hipótese alternativa (H<sub>A</sub>): há diferença significativa entre os valores obtidos entre os dois coagulantes.

Se t<sub>cal</sub> < t<sub>crit</sub>, aceita-se a H<sub>0</sub>

Se t<sub>cal</sub> > t<sub>crit</sub>, rejeita-se a H<sub>0</sub>

onde:

t<sub>crit</sub> – t crítico (valor tabelado). t<sub>crit</sub> = 4.30 para o nível de confiança de 95% e grau de liberdade igual a 2.

As tabelas (40- 42) apresentam os valores de t calculados para os parâmetros analisados para concentrações de 4mg.L<sup>-1</sup>, 12mg.L<sup>-1</sup> e 16 mg.L<sup>-1</sup>.

Tabela 40 – Valores de t calculados para os parâmetros analisados (concentração 4mg.L<sup>-1</sup>)

Parâmetros analisados	t <sub>cal</sub>	Juízo
Cloretos	121.43	t <sub>cal</sub> > t <sub>crit</sub> , rejeita-se a H <sub>0</sub> . Pode-se afirmar com 95% de confiança que há diferença significativa entre os dois coagulantes, no seu efeito sobre os cloretos, dureza, nitratos, nitritos, amoníaco, condutividade, turvação e pH.
Dureza	50.58	
Nitratos	642.37	
Nitritos	6.06	
Amoníaco	77.40	
Condutividade	821.70	
Turvação	43.30	
pH	110.27	

Tabela 41 – Valores de t calculados para os parâmetros analisados (concentração 12mg.L<sup>-1</sup>)

Parâmetros analisados	t <sub>cal</sub>	Juízo
Cloretos	13.29	t <sub>cal</sub> > t <sub>crit</sub> , rejeita-se a H <sub>0</sub> . Pode-se afirmar com 95% de confiança que há diferença significativa entre os dois coagulantes, no seu efeito sobre os cloretos, dureza, nitratos, amoníaco, condutividade e pH.
Dureza	1371.10	
Nitratos	5189.71	
Amoníaco	19.94	
Condutividade	1492.62	
pH	188.79	t <sub>cal</sub> < t <sub>crit</sub> , aceita-se a H <sub>0</sub> . Pode-se afirmar com 95% de confiança que não há diferença significativa entre os dois coagulantes, no seu efeito sobre os nitritos e turvação.
Nitritos	1.36	
Turvação	2.61	

Tabela 42 – Valores de t calculados para os parâmetros analisados (concentração 16mg.L<sup>-1</sup>)

Parâmetros analisados	t <sub>cal</sub>	Juízo
Cloretos	164.54	t <sub>cal</sub> > t <sub>crit</sub> , rejeita-se a H <sub>0</sub> . Pode-se afirmar com 95% de confiança que há diferença significativa entre os dois coagulantes, no seu efeito sobre os cloretos, nitratos, amoníaco, turvação, condutividade e pH.
Nitratos	1600.69	
Amoníaco	27.40	
Turvação	210.71	
Condutividade	378.84	
pH	149.82	
Dureza	2.12	t <sub>cal</sub> < t <sub>crit</sub> , aceita-se a H <sub>0</sub> . Pode-se afirmar com 95% de confiança que não há diferença significativa entre os dois coagulantes, no seu efeito sobre os nitritos e dureza.
Nitritos	1.82	

## Capítulo VI. Análise e Discussão de Resultados

O trabalho experimental desenvolvido teve como objectivo investigar a qualidade das águas de EB (condutividade, pH, temperatura, BOD, cor, depósito, turvação, cloretos, nitratos, nitritos, dureza, amoníaco e coliformes fecais) do tanque de armazenamento dos Caminhos de Ferro de Moçambique e avaliar a eficiência do extracto das sementes de Moringa oleífera, no processo de tratamento dessa água residual comparando os resultados obtidos com resultados de tratamento de EB com sulfato de alumínio e sementes trituradas de Moringa. Foram usadas as seguintes concentrações tanto de sementes de Moringa, como de sulfato de alumínio, nomeadamente 4mg/L, 12mg/L e 16mg/L.

O estudo de EB mostrou que as águas do tanque de armazenamento dos CFM, para além de apresentarem depósito e serem bastante coradas (por isso foram submetidas ao pré tratamento para posteriores análises), mostraram valores altos de condutividade, coliformes fecais e dureza.

Os valores de pH e da temperatura de EB encontram-se dentro dos níveis recomendados pelas normas Portuguesas de qualidade de água, apresentadas nos anexos de parâmetros de águas residuais industriais (A2-1 à A2-4), assim como nitratos, nitritos, amoníaco e cloretos. Para reduzir os valores altos de condutividade, coliformes fecais e dureza, o EB foi submetido ao tratamento com dois coagulantes (biodegradável e não biodegradável).

- Por um lado, com uso do sulfato de alumínio com todas as concentrações, verificou-se uma grande redução da carga microbológica;

No tratamento com 4mg/L de sulfato de alumínio houve redução do BOD, condutividade, turvação, dureza e nitratos. Ligeira elevação de nitritos e amoníaco, e total eliminação de depósito; estes parâmetros, passam a ajustar-se dentro dos níveis recomendados. Houve alteração da cor, pH baixo o que acarreta custos com produtos químicos para correcção do mesmo. Ligeira elevação de cloretos, havendo necessidade de uma fase adicional de tratamento - a desinfecção da água.

Outro problema grave do uso do sulfato de alumínio é a geração de lodo não biodegradável o que traz consequências nocivas para a vida aquática. A redução da temperatura deveu-se ao facto das amostras terem sido conservadas a frio no decurso do seu transporte para o LNHA.

- Por outro lado, o extracto de sementes de Moringa mostrou resultados impressionantes no aspecto "clarificação" da água e valor óptimo de pH com concentração de 4mg/L.

Para tratamento com sementes de Moringa com a concentração de 4mg/L houve também redução bastante significativa da condutividade e de cloretos. Aumento da turvação, dureza, nitratos, BOD, ligeiro aumento de níveis de nitritos e amoníaco respectivamente. Para as concentrações de

12mg/L e 16mg/L de sementes de Moringa, além de diminuição da condutividade, verificou-se elevação brusca das concentrações dos nitratos. A presença de nitratos na água é de extrema importância para a sua utilização na agricultura uma vez que em grande parte do nosso País o solo apresenta deficiência em nitrogênio e também para o crescimento de algas para posterior produção de biodiesel. Entretanto, a Moringa não se mostra como alternativa mais apropriada para eliminar coliformes fecais, pois a água tratada apresenta elevada quantidade de microorganismos. Portanto, é necessária uma posterior desinfecção da água.

A grande quantidade de lodo gerada, não é prejudicial ao ambiente pois o lodo gerado pela Moringa é biodegradável. Finalmente, os resultados de trabalhos mostram eficiência de aplicação de sementes de Moringa para melhoramento de certos parâmetros de qualidade de EB do tanque de armazenamento, nomeadamente, pH, cor, condutividade, cloretos, eliminação de depósito e nitritos.

Fazendo uma análise entre os meses verificou-se que:

- **No tratamento com sulfato de alumínio**, obtivemos um valor elevado de pH com o uso da concentração de 4mg/L no mês de Dezembro em relação às concentrações de 12 mg/L e 16 mg/L;

A temperatura manteve-se igual no período de quatro meses de estudo, valores baixos de BOD, condutividade, turvação, nitritos e amoníaco com a concentração de 4mg/L no mês de Setembro em relação às concentrações de 12 mg/L e 16 mg/L.

Houve alteração da cor e ausência de depósito nos meses de Setembro, Outubro e Dezembro, baixo teor de cloretos e dureza com concentrações de 12 mg/L e 16mg/L, baixo teor de nitratos com a concentração de 16mg/L no mês de Setembro.

O número de coliformes fecais manteve-se igual para as três concentrações durante os quatro meses.

- **No tratamento com sementes de Moringa:**

Verificou-se ótimo valor de pH no uso da concentração de 4 mg/L no mês de Setembro em comparação com as concentrações de 12 mg/L e 16mg/L, a temperatura manteve-se igual nos quatro meses de tratamento;

Baixo valor de BOD na concentração de 16mg/L nos meses de Setembro e Outubro, baixo valor da condutividade, dureza no mês de Setembro na concentração de 4mg/L, baixo teor de nitritos e



amoníaco na concentração de 4mg/L no mês de Setembro em relação às concentrações de 12 mg/L e 16mg/L;

Redução significativa de cloretos no tratamento com 16mg/L de sementes de Moringa no mês de Setembro, não houve alteração da cor nos quatro meses com concentração de 16 mg/L mas houve eliminação de depósito;

Valor baixo da turvação em Dezembro na concentração de 4 mg/L. Em contra partida não houve alteração da quantidade de coliformes fecais após o tratamento com sementes de Moringa.

O tratamento estatístico dos resultados mostrou que há diferença significativa nos dados de análises de EB com tratamento, usando os dois coagulantes.

Como foi mencionado anteriormente, a investigação envolveu a recolha de amostras de efluente bruto no período de Setembro a Dezembro com a finalidade de verificar se os resultados variam em função dos meses.

A investigação feita demonstrou que não há diferença significativa nos resultados das análises das amostras recolhidas nos diferentes meses de estudo.

## **Capítulo VII. Conclusões e Recomendações**

### **7.1 Conclusões**

Mediram-se parâmetros físico-químicos da água bruta e água tratada (pH, temperatura, condutividade, turvação, cor e depósito, nitratos, nitritos, amoníaco, cloretos, dureza total, demanda bioquímica de oxigénio e coliformes fecais);

Compararam-se os dados obtidos com amostras de efluente bruto tratadas com sulfato de alumínio e sementes de Moringa oleífera. O tratamento estatístico dos resultados mostrou que há diferença significativa nos dados de análises de EB com tratamento na concentração de 4mg/L, usando os dois coagulantes;

Analisaram-se as potencialidades do uso das sementes trituradas de Moringa oleífera no tratamento de águas do tanque de armazenamento dos CFM. Foi encontrada a concentração óptima de sementes de Moringa com a utilização de 4mg/L para melhoria da qualidade de EB no tanque de armazenamento dos CFM.

Comprovou-se a viabilidade e eficiência do uso das sementes trituradas de Moringa oleífera como coagulante natural, porém como única etapa de tratamento de água, não se mostra como alternativa mais apropriada, pois a água tratada apresenta considerável quantidade de microorganismos. Portanto, é necessário um estágio adicional – a desinfecção da água.

### **7.2 Recomendações**

A partir das conclusões, verifica-se a necessidade da realização de novos trabalhos que venham confirmar e complementar a avaliação da qualidade das águas residuais industriais, não só industriais, mas também águas residuais domésticas e aplicar o método de tratamento aqui proposto. Deste modo, recomenda-se:

Continuar o estudo, usando outros coagulantes naturais, tais como taninos, polpa de mandioca, casca de bagaço. Fazer tentativas de usar as águas tratadas para crescimento de algas com a finalidade de produção de biodiesel;

- Desenvolver estudos visando a distinção das diferentes espécies de Moringa que possam existir no País e identificar a Moringa oleífera.

## 8 Referências Bibliográficas

Association, W. E. F. (1995). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 19<sup>th</sup> edition. Washington, D.C.: Apha, Awwa, Wef. Washington. p.1157.

Cadwell ( 1990). Langelier- Manometric Measurement of the BOD of sewage, sewage work, journal. Washington, D.C. : Apha, Awwa, Wef. Washington. p. 64.

Cumaio, H. G.; Kuleshova, T.; Fuentes, A. C. (2012). Analysis of the potential use of crushed seed of Moringa oleifera in the treatment of effluent water from storage tank of rail roads in Mozambique –Analytical chemistry for the environment. Health and water. Editora universitária. UEM, Maputo.p.54.

Chibantão, G.V.G. (2012). Controlo da Qualidade da Água do Rio Infulene para fins de Irrigação, Trabalho de Licenciatura, Departamento de Química, UEM, Maputo. pp- 20.

Colombo, M.; Fernandes, A.M.D. (1987). Manual sobre a utilização das membranas filtrantes nas análises bacteriológicas de água e alimentos. Ministério da Saúde. Maputo. pp. 48–64.

Costa, M. (1987). Métodos de análise para águas residuais. Ministério da Saúde. Maputo. pp. 65–85.

Di Bernardo, L. (2005). Métodos e técnicas de tratamento de água. Vol 1. São Carlos. pp.424.

ESNARRIAGA, E. S. (2010). *Influência de sementes trituradas de moringa oleífera no tratamento de efluente bruto de fossa séptica biodigestora*. Trabalho de conclusão do curso de pós-graduação *lato sensu* em química. Universidade Federal de Lavras-MG (UFLA-MG). Mato Grosso do Sul – Brasil, disponível em:

<http://www.cpap.embrapa.br/teses/online/MON20.pdf>. acessado em: 11/2011.

Gerdes, G. (1996). O uso das sementes de Moringa para tratamento de água bruta. Esplar – Centro de Pesquisa e Acessoria. Fortaleza/CE. pp 12.

Assane, F. (2011). Avaliação dos poços de água do bairro Chalí – KaTembe e estudo da eficiência de sua purificação por filtração lenta e sua coagulação, Trabalho de Licenciatura, Departamento de Química, UEM, Maputo.p.52.

Guedes, C. D. (2004). Coagulação/Floculação de águas superficiais de minerações de ferro com turbidez elevada. Tese de Doutorado. DEGEO/EM/UFOP. Ouro Preto/MG. P. 159.

Gueyrard, D. et al. (2000). First synthesis of an O – glycosylated glucosinolate isolated from moringa oleífera. Tetrahedron letters. London. pp. 307–309

Greenberg, A. et.al. (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF, Washington, DC 20005. p.43.

Kawamura, S. (1991). Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. J.Amer. water works Assoc. Vol.83 (10). pp. 88-91.

Kin, F. D. (1996). Manual de estatística aplicada à química analítica. Departamento de Química. Faculdade de Ciências. UEM. Maputo. pp. 24-27, 54-55, 60-63.

Laboratório Nacional de Higiene de Alimentos e Águas. (1997). Métodos de análise de água. Ministério de Saúde. Maputo. p. 42.

Mara, D. D. (1978). Sewage Treatment in Hot Climates. John Wiley & Sons, Chichester. London. pp. 420–450.

Martyn, C. N.; Barker, D. P. H.; Osmond, C.; Harris, E. C.; Edwardson, G. L.; Laoey, R. F. (1989). Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminum drinking water. Lancet Vol. 1 (8629). pp. 59-62.

Mendes, C. G. N. (1989). Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variável. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos/SP. p.144.

Miller, N. J. (2002). Estatística y Quimiometria para Química Analítica. 4ª edición. Editora Isabel Capella. Madrid. pp 22-23.

Pavanelli, G. (2001). Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Paulo/SP. p. 216.

Price, M.L. (2000). The moringa tree. myers, FL: ECHO. ECHO technical note. New York. p.12.

Sperling, M.V. (1996). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. SEGRAC. 2ed. Belo Horizonte/MG. p. 243.

Trier, R. (1995). Uso da semente do género Moringa: Uma proposta alternativa para a clarificação das águas brutas no nordeste. AS – PTA, Acessoria e serviços a projectos em agricultura alternativa. Recife/PE. p.17.

[www.cm-condeixa.pt/regulamentos/regulamentoZil.pdf](http://www.cm-condeixa.pt/regulamentos/regulamentoZil.pdf) acessado em 12/11.

[www.aguasdesantarem.pt/](http://www.aguasdesantarem.pt/) acessado em 12/11.

[www.estg.ipg.pt/legislacao-ambiente/ficheiros/port.%20429-99.pdf](http://www.estg.ipg.pt/legislacao-ambiente/ficheiros/port.%20429-99.pdf) acessado em 12/11.

**Anexos**

### Anexo 1: Curvas de calibração

A figura A1-1 mostra a curva de calibração do amoníaco para efluente bruto

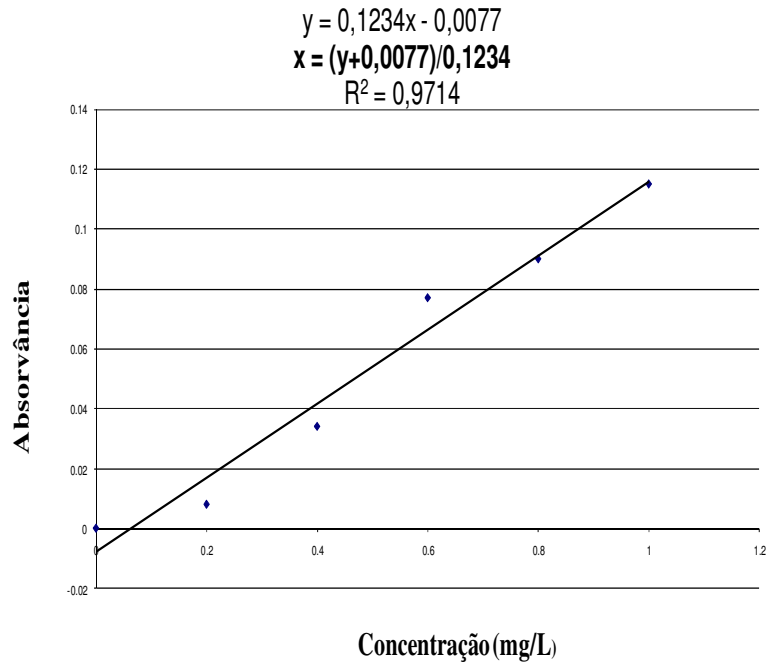
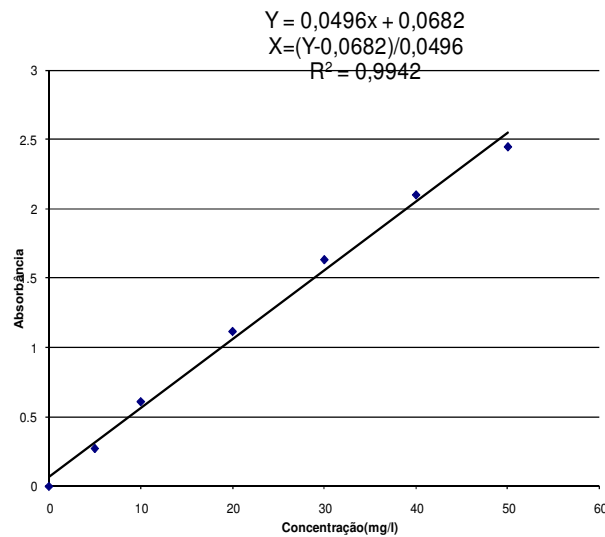


Figura A1-1: Curva de calibração do amoníaco para efluente bruto

A figura A1-2 mostra a curva de calibração de nitratos para efluente bruto



A1-2 Curva de calibração de nitratos para efluente bruto

A figura A1-3 mostra a curva de calibração de nitritos para efluente bruto

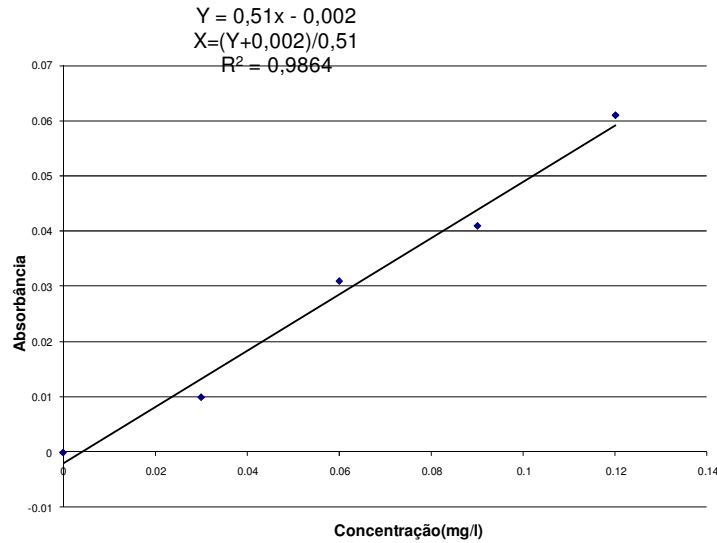


Figura A1-3: mostra a curva de calibração de nitritos para efluente bruto

A figura A1-4 mostra a curva de calibração de amoníaco para água tratada

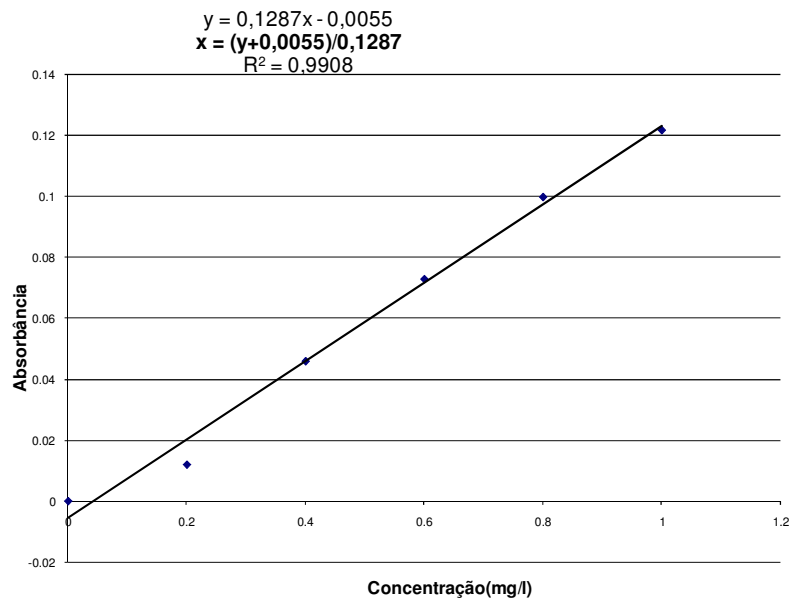


Figura A1-4: Curva de calibração de amoníaco para água tratada

A figura A1-5 mostra a curva de calibração de nitratos para água tratada



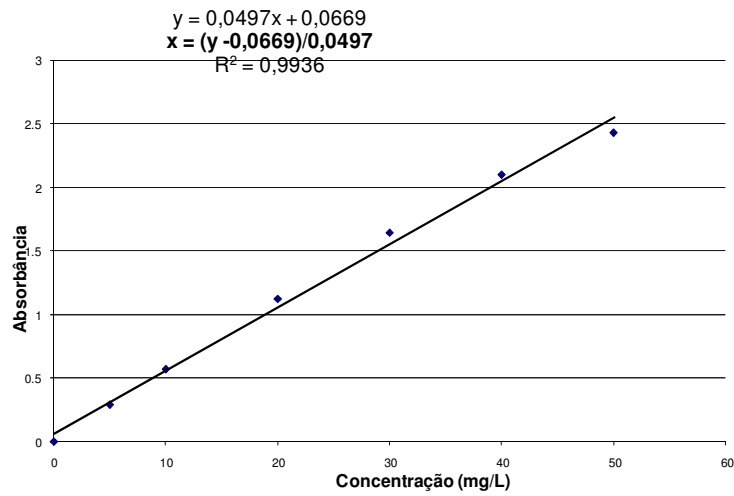


Figura A1-5: Curva de calibração de nitratos para água tratada

A figura A1-6 mostra a curva de calibração de nitritos para água tratada

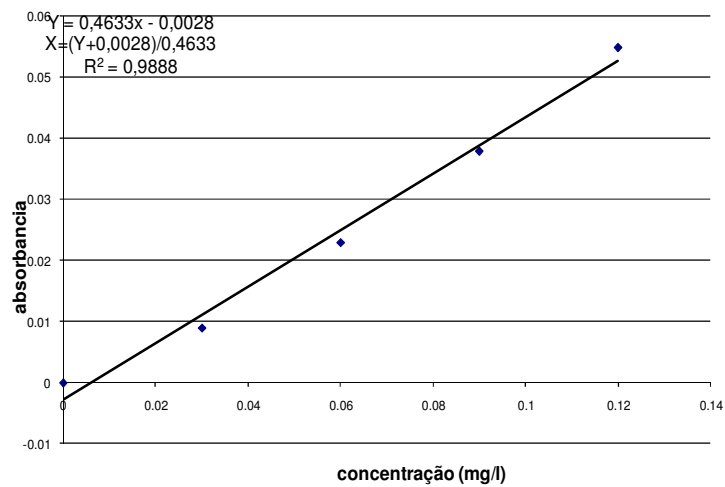


Figura A1-6: Curva de calibração de nitritos para água tratada

## Anexo 2: Parâmetros de qualidade de águas residuais industriais

Tabela A2-1: Valores limite de emissão de parâmetros característicos de águas residuais industriais

Parâmetros	Unidade	VLE
pH	Escala Sorensen	5.5-9.5
Temperatura	°C	65
BOD (20°C)	mg O <sub>2</sub> /L	500
CQO	Mg O <sub>2</sub> /L	1000
Azoto amoniacal	mg N/L	60
Azoto total	Mg N/L	90
Cloretos	mg/L	1000
Coliformes fecais	NMP/100 ml	10 <sup>8</sup>
Condutividade	µS/cm	3000
Óleos e gorduras	mg/L	100
Sulfatos	mg/L	1000

(VLE): Valores limite de emissão; (NMP): Número mais provável

Fonte: [www.cm-condeixa.pt/regulamentos/regulamentoZil.pdf](http://www.cm-condeixa.pt/regulamentos/regulamentoZil.pdf) (2007)

Estudo comparativo do uso de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio no tratamento de águas do tanque de armazenamento dos CFM

---

Tabela A2-2: Valores limite de emissão de parâmetros característicos de águas residuais industriais

Parâmetros	Unidade	VLE
Adeídos	mg/L	1.0
Aldrina, Dieldrina, Endrina e Isodrina	mg/L	2.0
Alumínio total	mg/L Al	10
Arsénio total	mg/L As	0.05
Boro	mg/L B	1.0
Cádmio total	mg/L Cd	1.0
Chumbo total	mg/L Pb	0.05
Cianetos totais	mg/L CN	0.5
Cloro residual disponível total	mg/L Cl <sub>2</sub>	1.0
Clorofórmio	mg/L	1.0
Cobre total	mg/L Cu	1.0
Crómio hexavalente	mg/L Cr (VI)	1.0
Crómio total	mg/L Cr	2.0
Crómio trivalente	mg/L Cr (III)	2.0
DDT	µg/L	0.2
Detergentes (lauril-sulfatos)	mg/L	50
1,2 – dicloroetano (DCE)	mg/L	0.2
Estanho total	mg/L Sn	2.0
Fenois	mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	10
Ferro total	mg/L Fe	2.5
Hexaclorobenzeno (HCB)	mg/L	10

(VLE): Valores limite de emissão

Fonte: [www.cm-condeixa.pt/regulamentos/regulamentoZil.pdf](http://www.cm-condeixa.pt/regulamentos/regulamentoZil.pdf) ( 2007)

Estudo comparativo do uso de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio no tratamento de águas do tanque de armazenamento dos CFM

---

Tabela A2-3: Valores limite de emissão de parâmetros característicos de águas residuais industriais

Parâmetro	Unidade	VLE
Hexaclorobutadieno (HCBd)	mg/L	1.5
Hexaclorociclohexano (HCH)	mg/L	2.0
Hidrocarbonetos totais	mg/L	15
Manganês total	mg/L Mn	2.0
Mercurio total	mg/L Hg	0.05
Metais pesados (concentração total)	mg/L	10
Níquel total	mg/L Ni	2.0
Nitratos	mg/L NO <sub>3</sub>	50
Nitritos	mg/L NO <sub>2</sub>	10
Pentaclorofenol	mg/L	1.0
Percloroetileno	mg/L	0.1
Pesticidas	µg/L	3.0
Prata total	mg/L Ag	1.5
Selénio total	mg/L Se	0.05
Sulfitos	mg/L SO <sub>3</sub>	2.0
Sulfuretos	mg/L S	2.0
Tetracloroeto de carbono	mg/L	1.5
Triclorobenzeno (TCB)	mg/L	0.1
Tricloroetileno (TRI)	mg/L	0.2
Vanádio total	mg/L Va	10
Zinco total	mg/L Zn	5.0

(VLE): Valores limite de emissão

Fonte: [www.cm-condeixa.pt/regulamentos/regulamentoZil.pdf](http://www.cm-condeixa.pt/regulamentos/regulamentoZil.pdf) ( 2007)

Estudo comparativo do uso de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio no tratamento de águas do tanque de armazenamento dos CFM

---

Tabela A2-4: Valores máximos admissíveis de parâmetros característicos de águas residuais industriais

Parâmetros	VMA	Expressão dos resultados
BOD	300	mg/L O <sub>2</sub>
CQO (carência Química de Oxigênio)	700	mg/L O <sub>2</sub>
SST (Sólidos Suspensos Totais)	500	mg/L
Óleos e gorduras	50	mg/L
Óleos Minerais	20	mg/L
Arsénio total	1	mg/L As
Cádmio total	0.2	mg/L
Cianetos	0.5	mg/L CN
Cobre total	1	mg/L Cu
Crómio Hexavalente	0.1	mg/L Cr (VII)
Crómio total	2	mg/L Cu
Fenois	0.5	mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Ferro total	2.5	mg/L Fe
Níquel total	2	mg/L Ni
Mercúrio total	0.05	mg/L Hg
Chumbo total	1	mg/L Pb
Zinco total	5	mg/L Zn
Cloretos	150	mg/L Cl
Cloro residual disponível	1	mg/L Cl <sub>2</sub>
Sulfuretos	1	mg/L S
Selénio total	0.05	mg/L Se
Nitratos	50	mg/L NO <sub>3</sub>
Nitritos	10	mg/L NO <sub>2</sub>
Detergentes (lauril-sulfato)	30	mg/L
Azoto Amoniacal	50	mg/L NH <sub>4</sub>

(VMA): Valor máximo admissível

Fonte: [www.aguasdesantarem.pt/](http://www.aguasdesantarem.pt/)

**Anexo 3: Tanque de armazenamento de água e Moringa usada no processo de tratamento da água**



Figura A3-1. Tanque de armazenameto dos CFM



Figura A3-2. Árvore de Moringa seleccionada para a colheita de sementes



Figura A3-3. Sementes de Moringa colhidas em vagens secas

**Anexo 4: Equipamentos usados para as análises**



Figura A4-1: Espectrofotômetro



Figura A4-2: Potenciômetro e condutímetro



Figura A4-3: Turbidímetro



Figura A4- 4. Manómetro